Guide de mise en œuvre des technologies du

soudage coupage



SYMOP

Syndicat des entreprises de technologie de production

Sommaire

Guide de mise en œuvre des technologies du soudage - coupage

Guide de prévention soudage - coupage

Comment utiliser ce guide de prévention ?

1 Les matériels de soudage et de coupage les plus courants

FICHES

Le SYMOP, syndicat des entreprises de technologies de production, regroupe des industriels de la mécanique autour des technologies de biens de production.

Parmi ces industriels, on retrouve les fabricants d'équipements de soudage et de coupage

Le SYMOP se défini pour principales missions :

- de rassembler des entreprises autour de centres d'intérêts communs,
- d'assurer le pilotage de la recherche collective (Cetim, Institut de Soudure) pour les produits relevant de sa compétence,
- de réaliser des enquêtes économiques, des études statistiques et de marché,
- de représenter la profession auprès des instances publiques, nationales, européennes ou internationales,
- de favoriser les échanges entre confrères,
- d'informer les entreprises, former, conseiller, promouvoir, représenter, et défendre collectivement les intérêts des entreprises.

En tant que membre de la FIM (Fédération des industries mécaniques), le SYMOP met à la disposition de ses membres une palette de services professionnels :

- information dans les domaines économique, juridique, fiscal et technique,
- services financiers,
- correspondants dans différents pays d'Europe et du monde.

Ce document a été réalisé par les membres du groupe « Soudage-Coupage » du SYMOP constitué des sociétés suivantes (liste au jour de la publication) :

AIR LIQUIDE
AIR LIQUIDE WELDING
AIRMIG LOCASOUD
ARO
BINZEL SOUDAGE
CAHOUET
CASTOLIN FRANCE
DOREL
ELEKTROSTA
ESAB FRANCE
FRONIUS FRANCE
GUILBERT EXPRESS
INSTITUT DE SOUDURE
ITW WELDING
KEMPPI FRANCE
LINCOLN ELECTRIC FRANCE
PROTECHNO
SAFMATIC
SERV
STÄUBLI
THESSCO Agi CLAL
TORCHE SERVICE
TOUTE LA SOUDURE (T.L.S.)

Nous tenons particulièrement à remercier les experts suivants pour leur participation active à l'élaboration de cet ouvrage ainsi que l'Institut de Soudure plus particulièrement pour la collaboration à la réalisation des fiches :

- Jean-Pierre Graulier
- Patrick Couderc
- Philippe Roguin
- Marc Dubos
- Joachim Grundman
- Michel Saez
- Michel Rousseau

Ce guide a été élaboré sur la base du « Guide de prévention Soudage-Coupage » de l'A.S.P. Métal-électrique - 6705 rue Jean-Talon Est – Saint Léonard (Québec) – Téléphone : (001) 514 253 5549.
Nous remercions vivement MM. Alain Plourde et Serge Simoneau de l'A.S.P. qui nous ont autorisé à utiliser ce guide et nous ont fourni la majorité des illustrations.



Guide de mise en œuvre des technologies du soudage - coupage

Des risques pour la santé et la sécurité du travail sont présents dans un grand nombre de tâches reliées à l'utilisation des technologies du soudage et du coupage thermique.
Ce guide a été réalisé pour le bénéfice des entreprises du secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques. Il a été conçu à l'intention des travailleurs qui exercent des activités de soudage et de coupage thermique, des coordonateurs en soudage et des membres des comités de santé et de sécurité.

Les procédés de soudage et de coupage font appel à des technologies en constante évolution. Nous nous sommes limités aux procédés les plus courants.

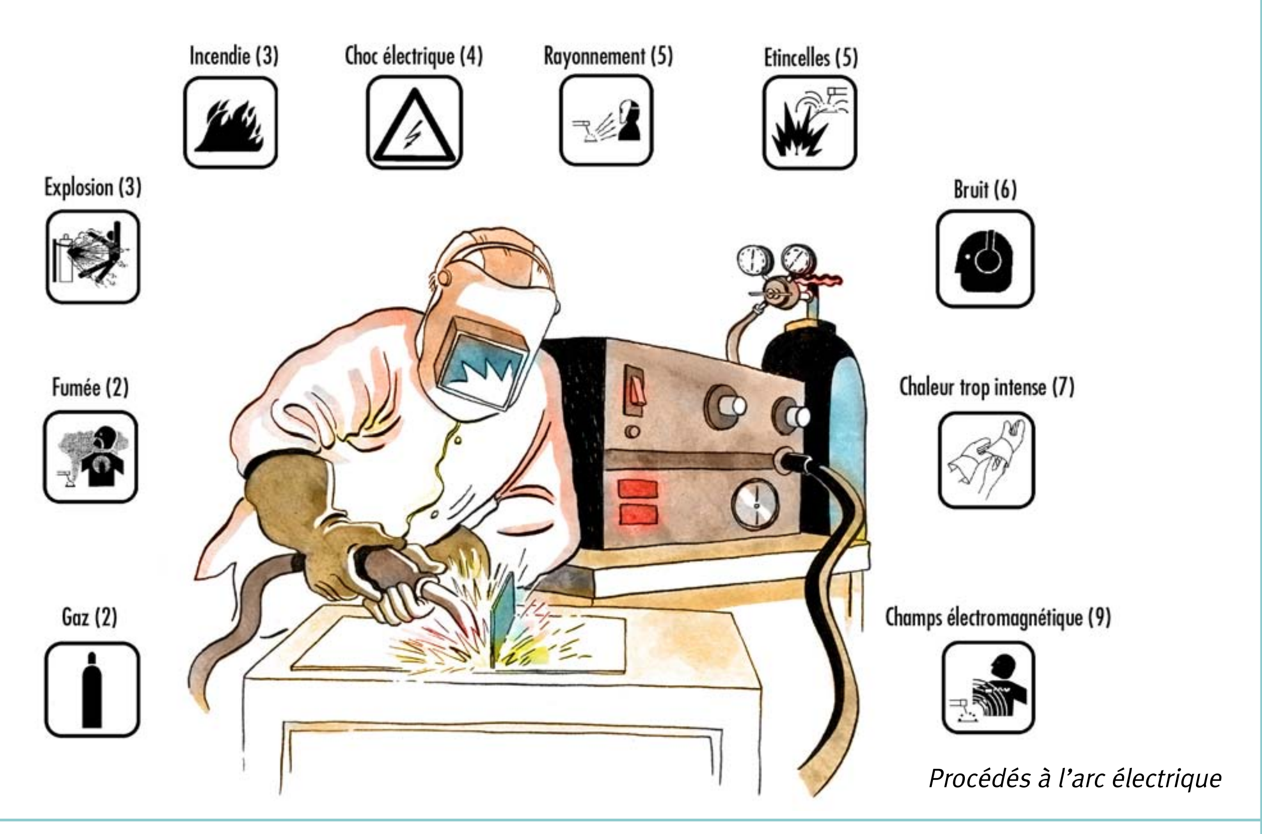
Dans le même esprit, nous ne traiterons pas d'un certain nombre de risques auxquels peut être exposé le soudeur, notamment aux risques de lésions musculosquelettiques comme les maux de dos et les tendinites. Ces questions, associées aux caractéristiques hautement variables de l'activité de travail comme la posture et l'effort, sont trop complexes pour être traitées ici. Nous nous sommes surtout attachés à décrire les risques physiques et chimiques présents dans l'environnement de l'opérateur en soudage et en coupage thermique.

Nous avons, avant tout, pour objectif de sensibiliser le lecteur à ces risques et aux moyens de prévention à mettre en place afin de les éliminer, de les diminuer ou de les contrôler.

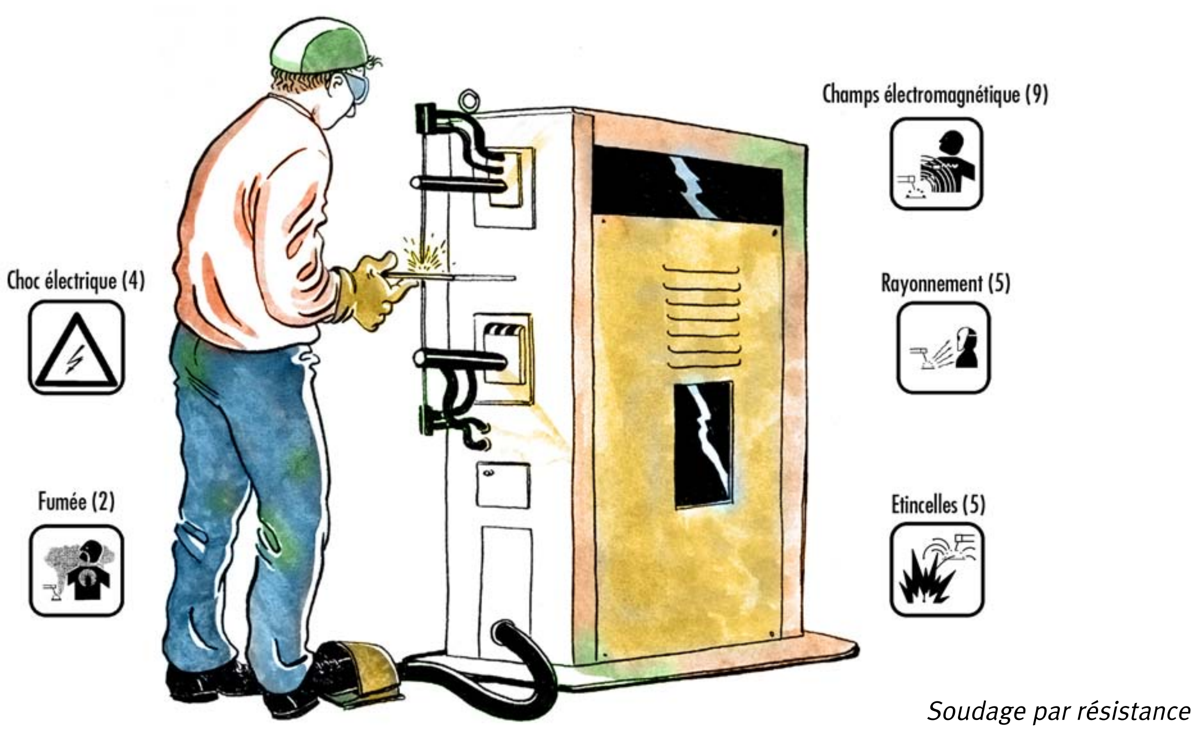


Comment utiliser ce guide de prévention ?

Afin de faciliter la consultation de ce guide, voici les risques spécifiques à chacune des quatre classes de procédés définis au chapitre 1. Vous trouverez pour chacun de ces risques l'information pertinente au chapitre correspondant indiqué par le chiffre entre parenthèses.

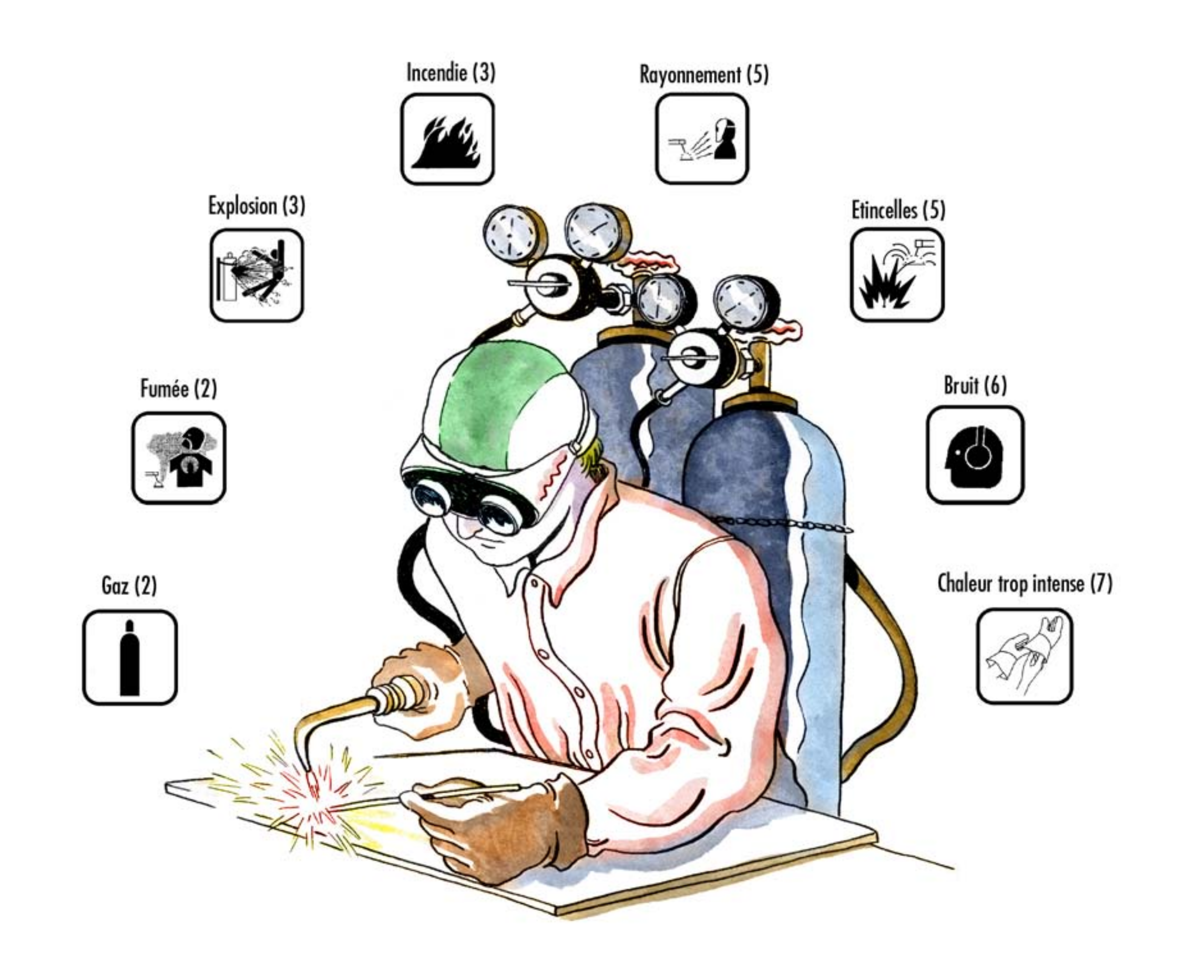


Procédés à l'arc électrique

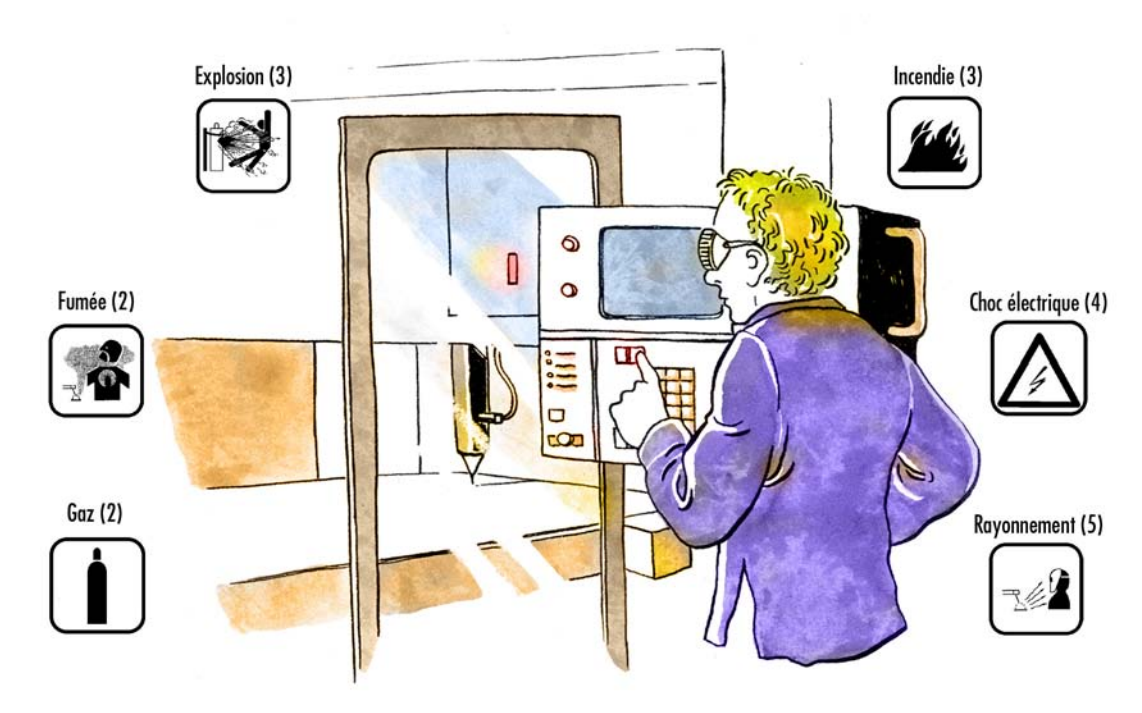


Soudage par résistance





Procédés oxygaz



Procédés par faisceau laser



Chapitre 1

Les matériels de soudage et de coupage thermiques les plus courants



Il existe près de 140 procédés différents de soudage et de coupage. Nous traiterons dans ce guide les procédés les plus couramment utilisés dans le secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques. On peut également classer les activités de soudage et de coupage thermique parmi les cinq types d'opérations suivantes :

Le soudage

Le soudage consiste à joindre des pièces de même nature en fusionnant leurs bords avec ou sans métal d'apport. Le métal de base et le métal d'apport se mélangent par dilution pour former le cordon de soudure.

Le brasage

Le brasage consiste à joindre des pièces de même nature ou non, sans fusion intime des bords (sans dilution), avec addition de métal d'apport complémentaire, généralement de nature différente des pièces à joindre. On peut également braser par couches successives afin de rebâtir une pièce de métal. Il existe plusieurs procédés de brasage et on les divise en deux catégories :

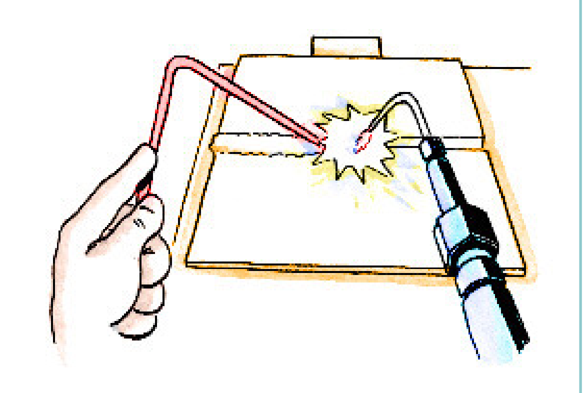
- le brasage tendre,
- le brasage fort.

Le brasage tendre est particulièrement utilisé dans l'industrie de l'électronique avec les procédés de brasage à la vague et de brasage au fer.

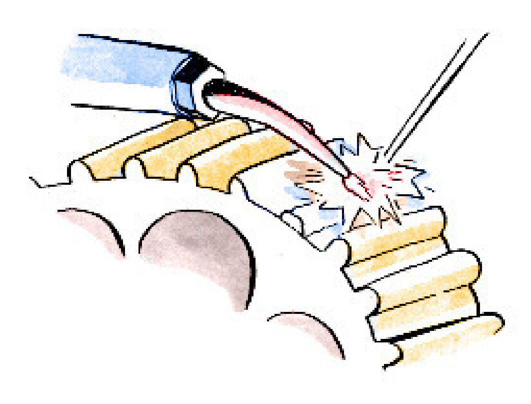
Le coupage thermique

Le coupage thermique consiste à faire fondre le métal afin d'en provoquer la scission (coupure).

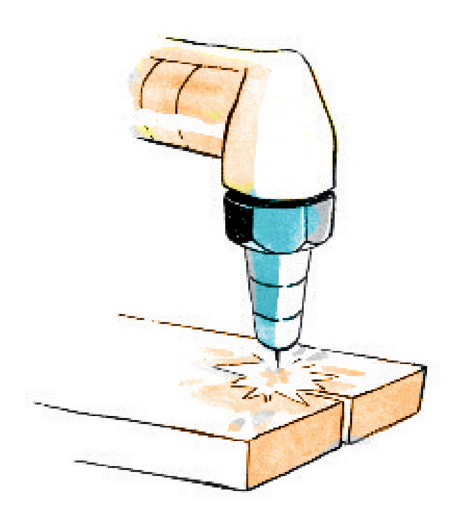
Le terme « coupage » est seul utilisé dans cette brochure.



Exemple de soudage :
Assemblage de deux plaques d'acier bout à bout



Exemple de brasage :
Application de métal en couche pour refaire une dent d'embrayage



Exemple de coupage :
Coupe d'une plaque d'acier

Le travail manuel à la gouge (gougeage)

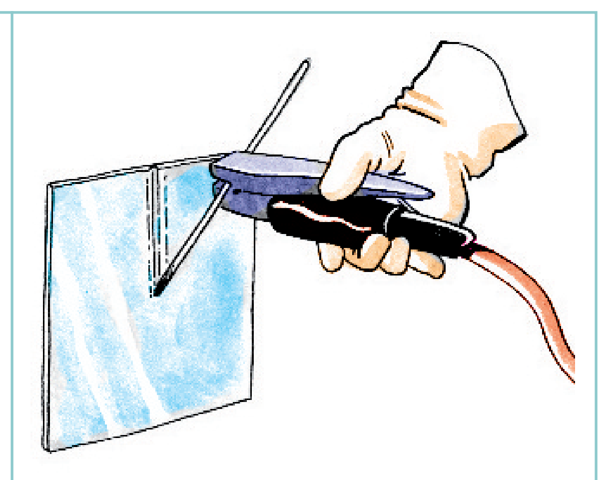
Le travail manuel à la gouge consiste à éliminer un cordon de soudure mal fait ou à faire une réparation en enlevant le surplus de métal sans traverser la pièce ou encore à préparer un joint à souder.

La projection thermique ou « métallisation »

La projection thermique ou métallisation de surface consiste à introduire de fines gouttelettes métalliques ou non métalliques dans un procédé de soudage déterminé afin de déposer un revêtement, à l'état fondu ou semi-fondu. Le matériau à déposer peut être sous forme de poudre, de tige en céramique ou de fil.

Pour le procédé oxygaz, on utilise le terme « métallisation », car les températures atteintes sont plus faibles qu'avec la projection thermique-plasma, l'arc électrique ou le soudage oxygaz à haute vitesse (HVOF).

La projection thermique est utilisée, entre autres, pour déposer en surface un dépôt donnant des propriétés spécifiques à celle ci. Ces propriétés de surface pouvant être une dureté, une résistance contre l'usure ou l'abrasion, une barrière thermique ou encore une résistance à la corrosion. Ces principales utilisations se trouvent dans les secteurs de l'industrie : les pâtes et papiers, les mines, l'industrie chimique et l'aéronautique.



Exemple de gougeage :
Creusage manuel pour faire un sillon de préparation pour la soudure

2. Lexique des procédés de soudage et de coupage

Voici les différentes désignations des procédés de soudage et de coupage mentionnés dans ce guide :

EN ISO 4063 (avril 2000)	Abréviation en Europe	Abréviation aux USA	Nom complet
111	MMA	MMA	Soudage à l'arc manuel avec électrodes Soudage à l'arc avec électrodes enrobées
114	FCAW	FCAW	Soudage à l'arc avec fil fourré sans protection gazeuse Soudage à l'arc avec fil fourré
12	SAW	SAW	Soudage à l'arc submergé
13			Soudage à l'arc sous protection gazeuse Soudage à l'arc sous gaz
131	MIG	GMAW	Soudage sous gaz inerte avec fil électrode en métal Soudage sous gaz avec fil électrode en métal
135	MAG	GMAW	Soudage sous gaz actif avec fil électrode en métal Soudage sous gaz avec fil électrode en métal
136	MAG	FCAW	Soudage à l'arc avec fil fourré avec protection de gaz actif Soudage à l'arc avec fil fourré
137	FCAW	FCAW-S	Soudage à l'arc avec fil fourré avec protection de gaz inerte Soudage à l'arc avec fil fourré
141	TIG	TIG	Soudage sous gaz actif avec électrode de tungstène Soudage sous gaz avec électrode de tungstène
21			Soudage par point Soudage par résistance par point
25			Soudage bout à bout par résistance
3	OFW		Soudage au gaz Soudage oxy-gaz
311			Soudage oxy-acétylénique
81	PAC		Coupage à la flamme Oxycoupage
86			Gougeage à la flamme Oxy-gougeage
15	PAW		Soudage à l'arc au plasma
	OFC		Coupage au chalumeau
	AAC		Coupage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air
	AAG		Gougeage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air
	CAW		Soudage à l'arc avec électrode de carbone
	LBC		Coupage par faisceau laser
	LBW		Soudage par faisceau laser
	RSW		Soudage par résistance par point
	RSEW		Soudage par résistance à la molette
	TS		Brasage tendre aux gaz
	TB		Brasage fort aux gaz
	INS		Brasage tendre au fer
	WS		Brasage tendre à la vague
	FLSP		Projection thermique (à la flamme) ou métallisation

3. Les procédés de soudage et de coupage

Les différents procédés de soudage, brasage et coupage sont classés en fonction de la source d'énergie tel qu'indiqué dans le tableau suivant :

- **Matériels pour soudage/brasage/coupage**
  - **Electrique**
    - **A l'arc électrique**
      - Avec électrodes enrobées 1
      - Avec protection gazeuse
        - Avec électrode réfractaire TIG 2
        - Avec électrode fusible/fil plein MIG/MAG 3
          - Avec électrode fusible/fil fourré MAG 4
        - Au plasma soudage/coupage 5 et 6
      - Sans protection gazeuse
        - Electrogaz 7
        - Avec électrode fusible/fil fourré 8
      - Autres procédés
        - Sous flux en poudre 8
        - Soudages de goujons 9
    - **Par résistance (effet joule)**
      - Par points 11
      - Par points multiples 12
      - A la molette 13
      - Par bossage 14
      - En bout par résistance 15
    - **Autres procédés (effet joute)**
      - Vertical sous laitier 16
      - Par induction 17
      - En bout par étincelage 18
    - **Haute densité d'énergie**
      - Faisceau d'électrons 19
      - Laser soudage/coupage 20
      - Laser hybride 21
  - **Aux gaz**
    - Soudage oxyacétylénique 22
    - Coupage oxygaz 23
  - **Mécanique**
    - Ultrasons 24
    - Friction 25
    - FSW 26
  - **Brasage**
    - Fort 27
    - Soudo-brasage 28
    - Tendre 29
  - **Autres procédés**
    - Par aluminothermie 30
    - Par diffusion 31
    - Par explosion 31

Les numéros donnés renvoient aux différentes fiches explicatives du matériel



Soudage à l'arc avec électrodes enrobées

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui jaillit entre une électrode métallique fusible comportant un enrobage et les pièces à souder.
L'enrobage, en fondant simultanément avec l'âme métallique, produit un gaz et un laitier qui protègent le métal en fusion de l'oxydation. Il favorise également la stabilité de l'arc et, dans certains cas, apporte des améliorations d'ordre métallurgique.

2. Descriptif du matériel

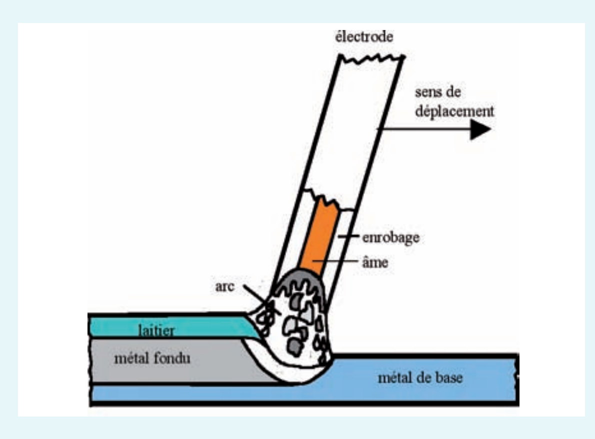
L'équipement comprend généralement :
- une source de courant alternatif ou continu redressé, appelée couramment « poste de soudage »[1],
- un porte électrode,
- des câbles d'alimentation pour le porte électrode et la prise de masse.

Nota [1] : la technologie des postes à onduleur se développe de plus en plus permettant de diminuer leur encombrement et leur poids.



3. Schéma de principe

En fonction de la nature de l'enrobage, le poste de soudage fournit un courant de soudage alternatif ou continu redressé.
L'arc électrique qui éclate entre l'extrémité de l'électrode et les pièces à souder est stabilisé grâce à des composants contenus dans l'enrobage qui favorisent l'ionisation de l'arc.
En fonction de l'intensité utilisée et du type d'enrobage, le métal est transféré sous forme de gouttelettes plus ou moins importantes.
Le procédé est essentiellement manuel. La qualité de la soudure dépend pour une bonne part de l'habileté gestuelle du soudeur.



4. Domaines d'application

C'est l'un des procédés de soudage le plus utilisé aussi bien en atelier que sur chantier. Il est mis en œuvre, soit dans le domaine du « bricolage », soit dans l'artisanat, soit dans l'industrie. Cependant, il est fortement concurrencé par le procédé de soudage avec fil fusible sous protection gazeuse qui a une meilleure productivité. Le soudage à l'électrode trouve sont principal intérêt dans l'industrie de la chaudronnerie, en particulier pour les aciers faiblement alliés. En effet, l'enrobage de l'électrode permet d'ajouter au bain de fusion des éléments particuliers, conférant des propriétés particuliers soit au niveau caractérisation mécanique soit au niveau des propriétés chimiques.
Il s'applique principalement aux aciers de construction pour des épaisseurs en général supérieures ou égales à 1,5 mm.



FICHE 2

Soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode réfractaire (TIG)

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate entre une électrode réfractaire et les pièces à assembler.
L'arc jaillit dans une atmosphère neutre qui protège l'électrode et le bain de fusion de l'oxydation.
Le procédé est appelé TIG : *Tungsten Inert Gas*.

2. Descriptif du matériel

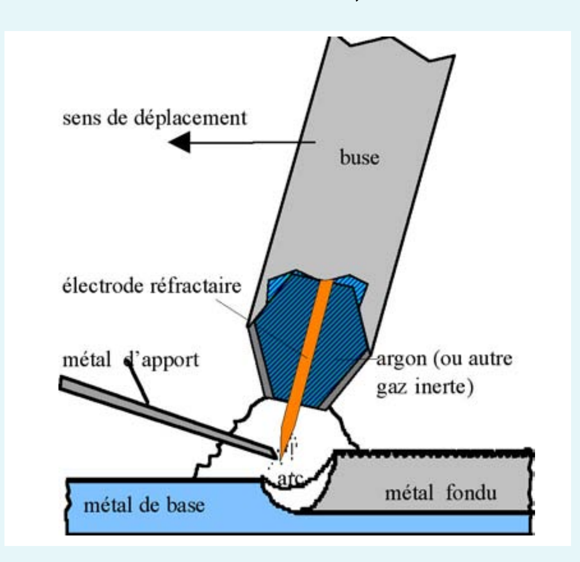
L'équipement comprend généralement :

- une source de courant, alternatif ou continu redressé ou pulsé, appelée couramment « poste de soudage »,
- une torche de soudage pouvant ou non être refroidie à l'eau,
- un faisceau pour l'alimentation de la torche en courant, gaz, eau, (le cas échéant),
- un groupe refroidisseur d'eau, (le cas échéant),
- une alimentation de gaz de protection : bouteille, détendeur, débitmètre,
- un coffret de commande et un générateur haute fréquence pour l'amorçage de l'arc.



3. Schéma de principe

L'arc électrique éclate entre l'extrémité de l'électrode en tungstène et les pièces à souder.
Le soudage s'effectue en courant continu l'électrode au pôle négatif (polarité directe) pour les aciers et ses alliages, cuivre, nickel…
Le soudage s'effectue en courant alternatif pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages.
Le gaz de protection utilisé est généralement de l'argon, des mélanges argon-hydrogène, argon – hélium ou l'hélium en fonction des matériaux, et du courant utilisé.



4. Domaines d'application

Ce procédé est utilisé de façon courante dans les industries aéronautique, alimentaire, chimique et/ou pétrochimique, ou en tuyauterie.
Il permet le soudage des aciers au carbone, aciers inoxydables, de l'aluminium, du cuivre, du titane et de leurs alliages sur des épaisseurs comprises généralement entre 0,5 et 8 mm.
De préférence utilisé en atelier, le soudage TIG peut également être employé sur chantier en prenant soin de limiter les courants d'air.
Il est utilisé soit en manuel, soit en automatique.



Soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible / fil plein (MIG/MAG)

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate dans une atmosphère de protection entre un fil électrode fusible et les pièces à assembler.
Selon les gaz utilisés pour l'atmosphère de protection :
- gaz neutre, le procédé est désigné « *Metal Inert Gaz* » (MIG),
- gaz actif, le procédé est désigné « *Metal Active Gaz* » (MAG).

Le procédé peut être utilisé en semi automatique ou automatique.

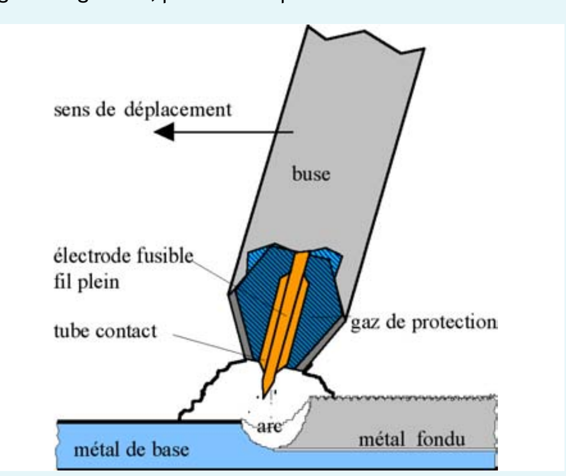
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de courant continu ou pulsé appelée couramment « poste de soudage »,
- un dévidoir de fil-électrode,
- une torche de soudage pouvant ou non être refroidie à l'eau,
- un faisceau pour alimentation de la torche en courant, gaz, eau, (le cas échéant),
- un groupe refroidisseur d'eau (le cas échéant),
- une alimentation de gaz de protection : bouteille, détendeur, débitmètre.



3. Schéma de principe

Le poste de soudage fournit un courant redressé ou pulsé. L'arc électrique éclate entre l'extrémité du fil fusible qui est généralement au pôle positif (polarité dite inverse), les pièces à souder étant au pôle négatif.
Le dévidoir compense la fusion du fil et comporte une régulation. Le gaz de protection évite l'oxydation du bain de fusion, permet de contrôler la fusion du fil en fonction du régime d'arc souhaité et peut aider à diminuer les émissions en fonction du mélange et mode de transfert d'arc choisi. Le coix gaz de protection a une influence sur la vitesse de soudage, la forme de la pélnétration, l'étalement du bain, la génération de fumées et projections.
Le transfert du métal dans l'arc peut se faire principalement de quatre manières en fonction du couple intensité-tension et de la nature du gaz de protection : avec court circuit, en grosses gouttes, pulsé ou en pulvérisation axiale.



4. Domaines d'application

Ils sont très vastes puisque ce procédé peut être utilisé en atelier et sur chantier pour l'exécution de soudures d'angle et bout à bout sur tous types d'acier, et un grand nombre d'alliages tels que l'aluminium, les bases nickel, les aciers austénitiques, et en toute position (en fonction de la nature du fil et de la protection gazeuse).
Il convient pour l'assemblage de pièces fines et épaisses grâce aux divers modes de transfert possibles.
Il se caractérise par une meilleur productivité par rapport au soudage à l'électrode enrobée.
Il convient particulièrement bien à des applications automatiques ou robotisées permettant d'augmenter la productivité par exemple à l'aide d'installations bi-fils.



FICHE 4

Soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible / fil fourré (MAG)

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate, dans une atmosphère de protection, entre un fil électrode tubulaire rempli de flux et les pièces à souder.
Le fil électrode est un tube dont l'intérieur contient des fondants et des éléments d'addition qui confère au métal déposé des caractéristiques proches de celles du procédé à l'électrode enrobée (mouillage amélioré, bonnes caractéristiques mécaniques).
Le fil est obtenu par étirage (comme les tubes) ou par plissage et sertissage d'un feuillard.
Un gaz actif de protection est diffusé sur le métal en fusion, par la buse de la torche de soudage.
Le procédé peut être automatique ou semi automatique.
Voir aussi fiche n° 3 procédé MAG.

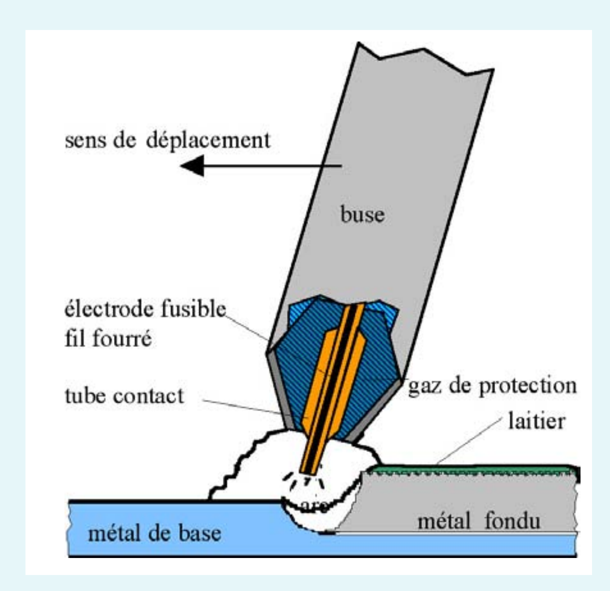
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de courant continu appelée couramment « poste de soudage »,
- un dévidoir de fil fourré,
- une torche de soudage généralement refroidie à l'eau,
- un faisceau pour alimentation de la torche en courant, gaz, eau,
- un groupe refroidisseur d'eau,
- une alimentation de gaz de protection : bouteille, détendeur, débitmètre,
- une potence ou un robot dans le cas de soudage automatique.



3. Schéma de principe

Le poste de soudage fournit un courant redressé. L'arc électrique éclate entre l'extrémité du fil fourré qui est généralement au pôle positif (polarité dite inverse) et les pièces à souder qui sont au pôle négatif.
Le dévidoir compense la fusion du fil et comporte une régulation.
Le laitier protège le bain de fusion de l'oxydation et dans certains cas, peut apporter des éléments supplémentaires pouvant améliorer la qualité de la soudure.
Le gaz de protection actif sert à assurer la composition chimique du bain de fusion requise (cas des fils fourrés basiques) et/ou d'apporter la maniabilité, la vitesse de soudage, un bon étalement du bain et une réduction des projections. Le choix du gaz de soudage a une influence sur l'émission des fumées.



4. Domaines d'application

Le procédé est utilisé principalement en atelier et sur chantier pour la maintenance et les travaux neufs sur des constructions lourdes, en chantier naval, chaudronnerie...
Les équipements sont plus coûteux que ceux pour procédés MIG et MAG fil plein.
Les fumées de soudage sont moins importantes que lors de la mise en œuvre du procédé fil fourré sans gaz (voir fiche n° 8).



Soudage sous protection gazeuse au plasma thermique

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des pièces à assembler est obtenue par l'énergie calorifique apportée par un plasma thermique qui est une atmosphère gazeuse portée à haute température (20 000° C peuvent être atteints dans le plasma).
Ce plasma est obtenu dans la torche de soudage en constrictant une colonne gazeuse au droit d'un arc jaillissant entre une électrode de tungstène (cathode) et une anode constituée par la pièce. On obtient alors un plasma d'arc dit transféré qui est utilisé en soudage et coupage.
En soudage plasma deux gaz sont utilisés : un gaz central, entrourant l'électrode et servant à constricter l'arc et un gaz de protection et de process, servant à protéger le bain de fusion contre une pollution extérieur et pouvant apporter des espèces chimiques, servant à augmenter la pénétration (par exemple : hydrogène).

2. Descriptif du matériel

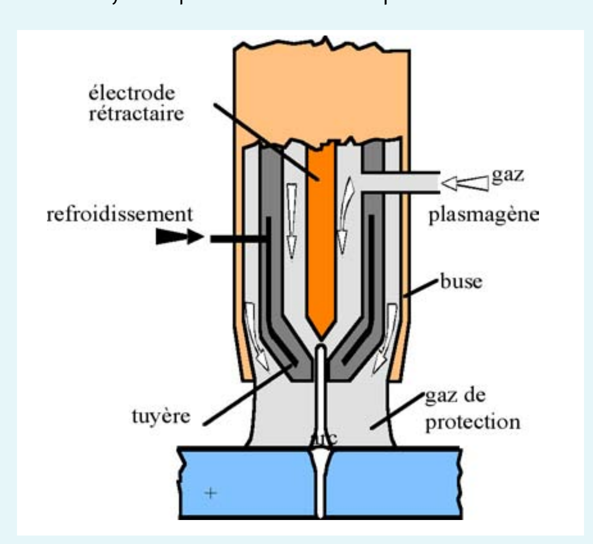
L'équipement comprend généralement :

- une source de courant continu,
- une torche de soudage plasma refroidie à l'aide d'un liquide réfrigérant,
- un faisceau pour alimentation de la torche en courant, gaz plasmagène et de protection, liquide réfrigérant,
- un groupe réfrigérant,
- une alimentation de gaz plasmagène et de protection : bouteilles, détendeurs, débitmètres,
- un coffret de commande.



3. Schéma de principe

Le poste de soudage fournit un courant continu. L'électrode de tungstène de la torche est au pôle négatif (cathode), la pièce au pôle positif (anode).
L'arc jaillit entre l'électrode de tungstène et la pièce à souder.
Le gaz plasmagène (généralement argon passe à travers la tuyère centrale dont la forme est telle qu'un plasma d'arc transféré se produit à sa sortie.
Le gaz annulaire de protection du bain de fusion modifie également l'ionisation du gaz plasmagène et confine thermo-dynamiquement la veine de plasma.



4. Domaines d'application

Le soudage au plasma avec arc transféré offre deux possibilités :

- soudage à faible énergie « mini plasma » utilisé pour des épaisseurs comprises entre 1/100 et 8/10 mm, avec des intensités allant de 0,2 à 10 A, et des débits de gaz plasmagène de 3 l/min. Il est utilisé soit en manuel, soit en automatique,
- soudage à forte énergie, pour des épaisseurs allant jusqu'à 10 mm, utilisé avec des intensités atteignant 500 A et des débits de gaz plasmagènes de 15 à 20 l/min. Il est utilisé en automatique.

Tous les matériaux soudables en TIG peuvent être soudés avec une torche plasma, sauf l'aluminium.



Coupage plasma

1. Principe du procédé de coupage mis en œuvre

La fusion des pièces à assembler est obtenue par l'énergie calorifique apportée par un plasma thermique qui est une atmosphère gazeuse portée à haute température (voir fiche 5).
Un gaz d'admission (en général de l'air comprimé mais peut être aussi un mélange avec oxygène ou azote).
Ce gaz est parfois scindé pour simuler un double gaz
Le même gaz est utilisé pour l'arc, l'écran et le refroidissement.
Il existe également des torches avec double débit de gaz ou avec écran d'eau.

2. Descriptif du matériel

Voir fiche 5.



4. Domaines d'application

C'est l'un des procédés de coupage très utilisé aussi bien en atelier. Il est mis en œuvre dans l'industrie.
Il concurrence très fortement procédé de coupage oxy combustible.
Il s'applique principalement aux aciers carbone de 0,6 mm à 32 mm mais peut aussi être utilisé sur des aciers inox pour couper des épaisseurs en général inférieures ou égales à 70 mm.
Il s'applique également sur aluminium jusqu'à des épaisseurs de 70 mm.

3. Schéma de principe

Le jet de plasma est généré par l'étranglement d'un arc électrique dans un gaz et jaillit entre l'électrode et la pièce à couper : c'est l'arc transféré, technique la plus courante ; l'arc peut aussi jaillir entre l'électrode et la buse d'alimentation en gaz : c'est l'arc soufflé utilisé uniquement sur des applications particulières comme le coupage des plastiques par exemple.

Schéma de principe I

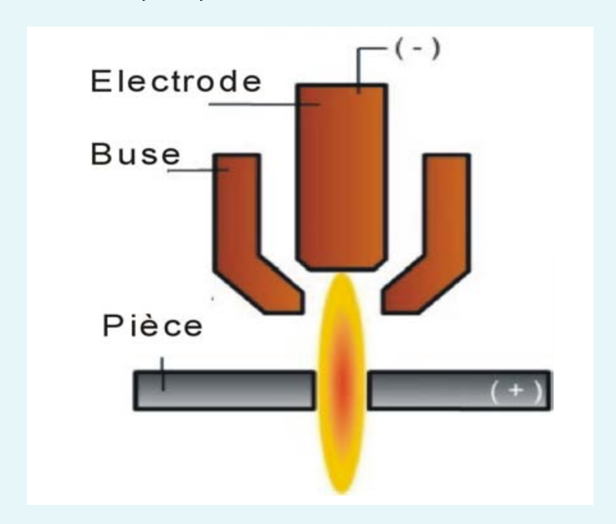
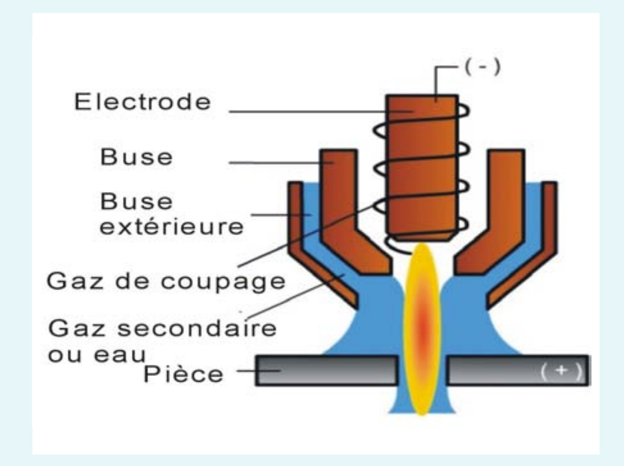


Schéma de principe II





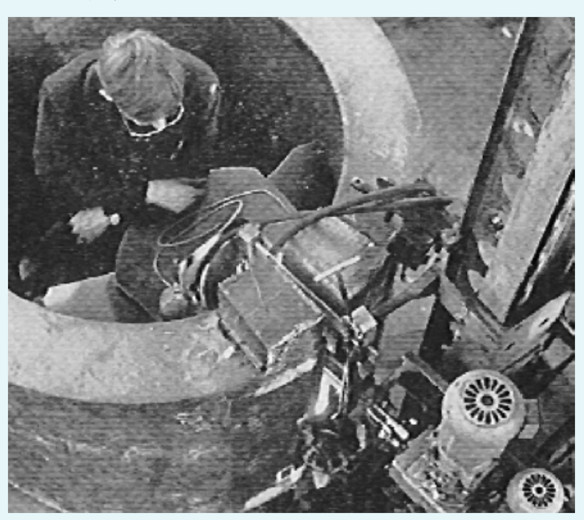
Soudage à l'arc électrogaz

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Il s'agit d'un procédé automatique.
L'opération de soudage consiste à effectuer une soudure en une seule passe sur des pièces placées verticalement et entre lesquelles on a ménagé un écartement.
La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui jaillit entre un fil électrode tubulaire rempli de flux et un bain de fusion contenu par des patins refroidis à l'eau.
La position de soudage est verticale et les patins se déplacent en fonction de la vitesse de fusion du fil d'apport.
Le fil d'apport peut avoir un mouvement d'oscillations dans un plan horizontal.

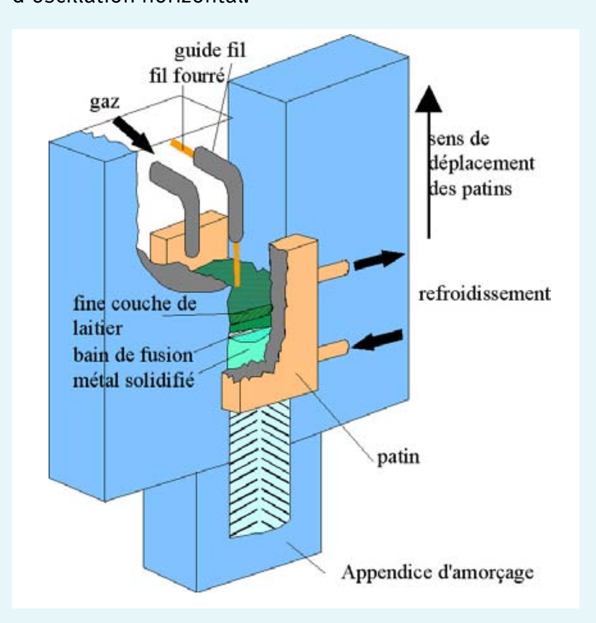
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de courant continu pouvant fournir 750 à 1 000 A avec un facteur de marche de 100 %,
- un dévidoir pour fil électrode,
- un oscillateur,
- éventuellement un guide fil fusible,
- une potence pour translation automatique verticale,
- des sabots latéraux refroidis par la circulation d'un fluide caloporteur,
- des équipements de contrôle.



3. Schéma de principe

Un appendice en début de soudure permet de démarrer le procédé jusqu'à ce que le bain de fusion atteigne les bords à souder.
L'arc électrique jaillit entre cet appendice et le fil fourré.
La chaleur de l'arc alimente le bain de fusion qui, lui-même, fond les bords des pièces à assembler.
La vitesse de montée est réglée pour maintenir le bain de fusion en équilibre.
Le fil peut éventuellement être animé d'un mouvement d'oscillation horizontal.



4. Domaines d'application

Ce procédé est principalement utilisé sur chantier pour le soudage de grandes longueurs verticales, sur des structures en acier de 10 à 100 mm.
Les structures concernées sont par exemple :
- les coques de navires,
- les grands réservoirs de stockage,
- les appareils à pression,
- les grandes poutres métalliques.

Nota : ce procédé peut aussi être utilisé avec un gaz de protection.



Soudage à l'arc sans protection gazeuse avec électrode fusible / fil fourré

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate entre un fil électrode tubulaire rempli de flux et les pièces à souder.
Le fil électrode est un tube dont l'intérieur contient des fondants et des éléments d'addition qui confèrent au métal déposé des caractéristiques proches de celles du procédé à l'électrode enrobée (mouillage amélioré).
Le fil est obtenu par étirage (comme les tubes) ou par plissage et sertissage d'un feuillard.
Le procédé peut être automatique ou semi automatique.

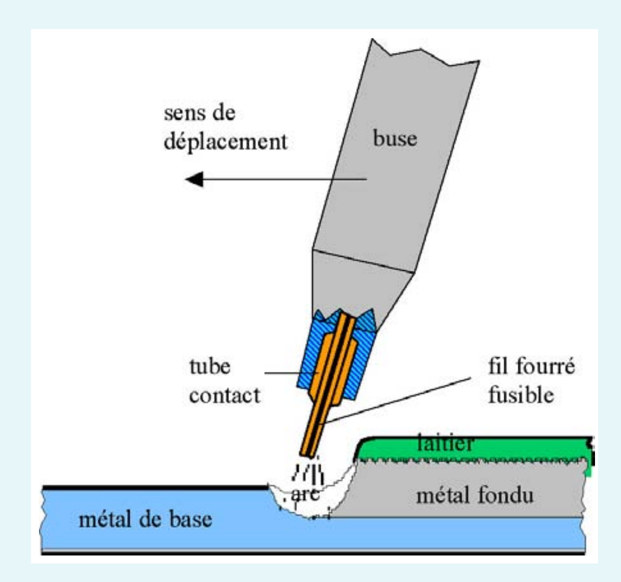
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de courant continu appelée couramment « poste de soudage »,
- un dévidoir de fil fourré,
- une torche de soudage généralement refroidie à l'eau,
- un faisceau pour l'alimentation de la torche en courant, en eau,
- un groupe refroidisseur d'eau.



3. Schéma de principe

Le poste de soudage fournit un courant redressé. L'arc électrique s'établi entre l'extrémité du fil fourré et les pièces à assembler.
Le dévidoir compense la fusion du fil et comporte une régulation.
Le laitier protège le bain de fusion de l'oxydation et dans certains cas, peut apporter des éléments supplémentaires pouvant améliorer la qualité de la soudure.



4. Domaines d'application

Du fait d'un taux de dépôt plus élevé, la productivité est meilleure que celle des procédés MIG et MAG (voir fiche n° 3).
Le procédé est utilisé principalement sur chantier pour la maintenance et les travaux neufs sur des constructions lourdes.
Les équipements sont plus coûteux que ceux pour procédés MIG et MAG.
La présence de fumées de soudage nécessite des aspirations lors du travail en atelier.



Soudage à l'arc sous flux en poudre

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'arc électrique nécessaire à la fusion du métal d'apport et des pièces à assembler jaillit à l'intérieur d'un dépôt de flux pulvérulent.
L'arc électrique n'est pas visible.

2. Descriptif du matériel

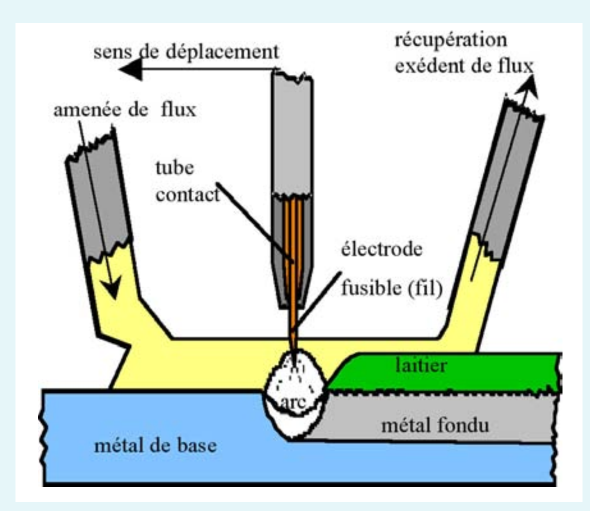
L'équipement comprend généralement :

- une source de courant continu pour les intensités inférieures à 600 A, alternatif au dessus (cas général),
- un dévidoir de fil électrode,
- une tube contact électrode pouvant ou non être refroidi à l'eau,
- une goulotte d'alimentation du flux en poudre,
- une aspiration du flux non consommé,
- un coffret de commande,
- un potence pour le déplacement automatique de la tête de soudage.



3. Schéma de principe

A l'amorçage l'arc éclate au sein de la poudre.
Il se produit alors une cavité remplie de gaz (CO et CO_2) qui est entourée de flux fondu. Ce dernier étant conducteur, une partie de l'énergie est transmise au bain par effet joule.
Le laitier produit protège (comme dans le cas du soudage avec des électrodes enrobées) le bain de fusion pendant son refroidissement et évite ainsi son oxydation.



4. Domaines d'application

Ce procédé, d'un excellent rendement, est essentiellement utilisé en soudage horizontal de tôles épaisses. Cependant, l'utilisation de « sabots » permet le soudage en corniche.
Il s'applique principalement au soudage et au rechargement des aciers.
De façon générale, il n'est utilisé que pour le soudage d'épaisseur supérieure à 5 mm. On peut souder par exemple du 50 mm en deux passes opposées sur bords jointifs chanfreinés.
Le procédé est surtout utilisé en automatique.
En rechargement on peut utiliser deux fils ou un feuillard.



Soudage à l'arc des goujons

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le procédé consiste à assembler des goujons sur une pièce de base, par soudage. Le goujon est en général de forme cylindrique.
La fusion est obtenue par un arc électrique qui éclate entre l'extrémité du goujon et la pièce sur laquelle il doit être fixé. Après extinction de l'arc un forgeage est réalisé.
L'énergie nécessaire à l'établissement de l'arc électrique est fournie soit par une source de courant, soit par une décharge de condensateur.
La protection du bain de fusion peut être réalisée soit par une bague réfractaire, soit par une protection gazeuse (procédé SIG® *Studs Inert Gaz*).

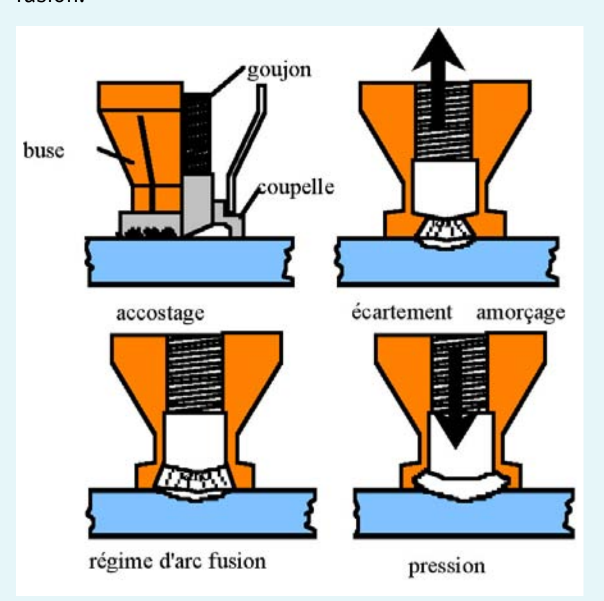
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de courant continu appelée couramment « poste de soudage »,
- un pistolet de soudage de goujons,
- des câbles d'alimentation pour le pistolet,
- des organes de commande et de contrôle des paramètres,
- des goujons.



3. Schéma de principe

Le goujon et sa bague réfractaire (coupelle) sont positionnés sur la pièce.
Le cycle de soudage est déclenché. L'arc électrique fond le bout du goujon et localement la pièce. La bague réfractaire ou le gaz, (pour le procédé SIG®), assure la protection du bain de fusion.
Le goujon est forgé automatiquement dans le bain de fusion.



4. Domaines d'application

Les domaines d'application sont très divers : automobile, chaudières, bâtiments et ponts, chemins de fer, équipements industriels divers, construction navale, industrie de la défense etc.
Le procédé peut être automatisé.
Il s'applique aux aciers au carbone, inoxydables, alliages d'aluminium, alliages de nickel...



Soudage par résistance par points

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'effet joule dû à la résistance au passage d'un courant basse tension et d'intensité suffisante, est utilisé pour la fusion et le soudage de pièces de métal superposées.
Les pièces à souder qui sont en recouvrement, sont serrées entre deux électrodes de cuivre qui amènent le courant.
Ces électrodes exercent également un effort important lors de l'accostage, lors du passage du courant et au cours de la phase de refroidissement.

2. Descriptif du matériel

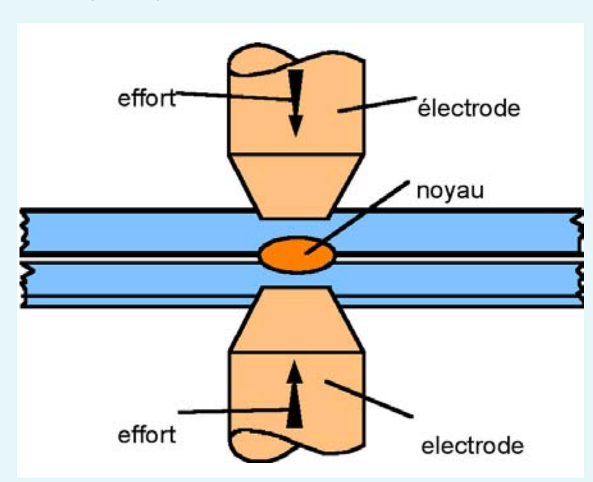
L'équipement comprend généralement :

- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins pneumatiques permettant d'exercer une forte pression sur les pièces à assembler, à l'aide d'électrodes en cuivre,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système de refroidissement des électrodes.



3. Schéma de principe

A l'accostage, l'effort sur les électrodes rapproche les pièces l'une contre l'autre et provoque ainsi un contact intime à l'endroit où l'on veut effectuer le point.
Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage et contient le noyau de métal en fusion.
Au refroidissement, pendant la solidification du noyau, l'effort diminue le volume de la retassure et affine le grain du métal.
Ce cycle de soudage élémentaire, décrit ci-dessus, peut être plus complexe et comporter par exemple des périodes de pré et postchauffage, de recuit, etc.



4. Domaines d'application

Le soudage par résistance par points :

- s'applique essentiellement aux joints à recouvrement sur tôles d'épaisseurs identiques ou différentes et avec la possibilité, sur tôles minces, de pouvoir superposer et souder simultanément 3 ou 4 épaisseurs,
- s'applique sur aciers non alliés, faiblement alliés, fortement alliés, alliages légers, nickel et alliages de nickel, etc.,
- se prête parfaitement à l'automatisation. Rapidité d'exécution : par ex. 500 points minute sur acier de 2 mm,
- est très utilisé en automobile, matériel ferroviaire, électroménager, mobilier et emballage métallique.



Soudage par résistance par points multiples

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'effet joule, dû à la résistance au passage d'un courant basse tension et d'intensité suffisante, est utilisé pour la fusion et le soudage de pièces de métal superposées.
Les pièces à souder qui sont en recouvrement, sont serrées entre plusieurs électrodes de cuivre qui amènent le courant.
Ces électrodes exercent également un effort important lors de l'accostage, lors du passage du courant et au cours de la phase de refroidissement.

2. Descriptif du matériel

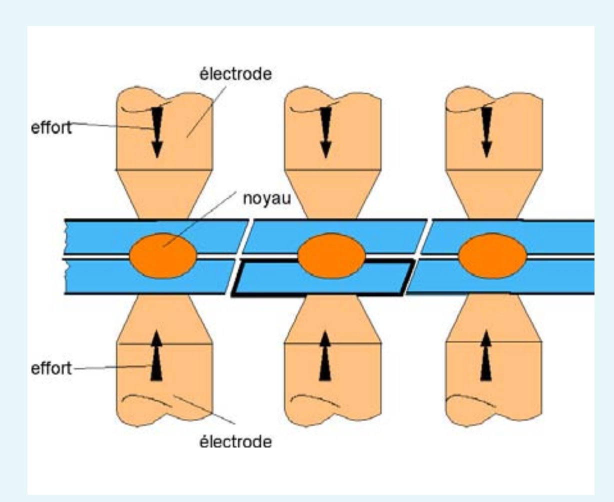
L'équipement comprend généralement :

- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins pneumatiques permettant d'exercer une forte pression sur les pièces à assembler, à l'aide d'électrodes en cuivre,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système de refroidissement des électrodes.



3. Schéma de principe

A l'accostage, l'effort sur les électrodes rapproche les pièces l'une contre l'autre et provoque ainsi un contact intime à l'endroit où l'on veut effectuer le point.
Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage et contient le noyau de métal en fusion.
Au refroidissement, pendant la solidification du noyau, l'effort diminue le volume de la retassure et affine le grain du métal.
Ce cycle de soudage élémentaire, décrit ci-dessus, peut être plus complexe et comporter par exemple des périodes de pré et postchauffage, de recuit, etc.



4. Domaines d'application

Ils sont identiques à ceux mentionnés à la fiche n° 11 « soudage par résistance par points », cependant, la technique des points multiples, utilisée avec des machines multi-électrodes, permet un rendement plus élevé pour le travail en série.



Soudage par résistance à la molette

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

C'est une variante du soudage par points, voir fiche n° 11.
Les électrodes sont remplacées par des disques en cuivre mobiles autour de leur axe qui roulent de façon continue ou discontinue sur le recouvrement de pièces à assembler.
Le courant passe par impulsions et l'on réalise ainsi une succession de points de soudure qui peuvent être espacés ou jointifs. Dans ce dernier cas, on réalise un cordon de soudure étanche.

2. Descriptif du matériel

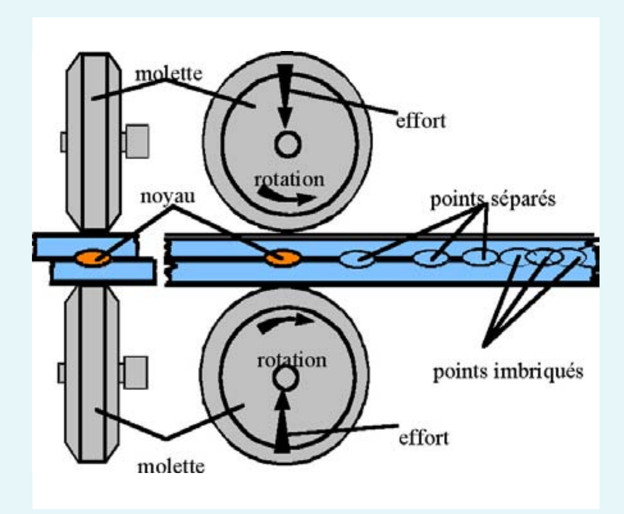
L'équipement comprend généralement :

- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins pneumatiques permettant d'exercer une forte pression sur les pièces à assembler, à l'aide de molettes en cuivre,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système d'entraînement de molettes.



3. Schéma de principe

A l'accostage, l'effort sur les molettes rapproche les pièces l'une contre l'autre et provoque ainsi un contact intime à l'endroit où l'on veut effectuer le point.
Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage et contient le noyau de métal en fusion.
Au refroidissement, pendant la solidification du noyau, l'effort diminue le volume de la retassure et affine le grain du métal.
Les molettes animées d'un mouvement de rotation entraînent les pièces à assembler.



4. Domaines d'application

Le soudage par résistance à la molette s'applique essentiellement aux joints à recouvrement pour des soudures longitudinales ou circulaires de capacités.
Les domaines d'application sont similaires à ceux du soudage par résistance par points, voir aussi fiche n° 11.

Soudage par résistance par bossages

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le soudage par bossages est un cas particulier du soudage par points, voir fiche n° 11.
Dans le soudage par bossages, l'effort de forgeage et la section de passage du courant, se déterminent par la mise en contact de protubérances appelées bossages.
Les électrodes prennent la forme de plateaux portant le plus souvent des montages adaptés aux pièces à assembler.
La cinématique du soudage est très voisine de celle du soudage par points.
Lorsque l'opération est achevée, la protubérance s'est totalement résorbée dans la tôle qui lui fait face et les deux parties à assembler sont jointes comme dans le cas du soudage par points.

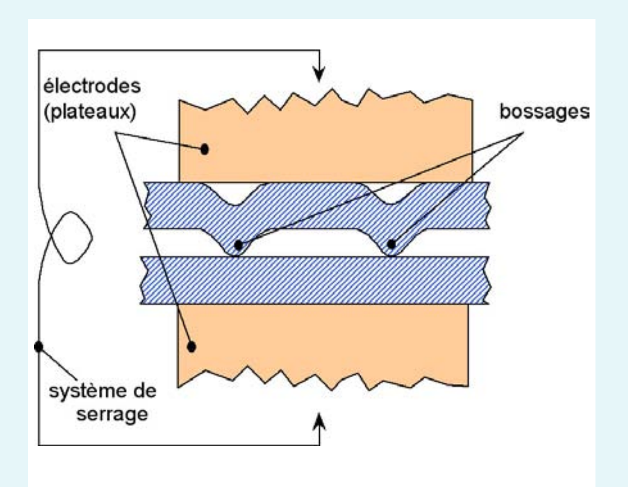
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins pneumatiques permettant d'exercer une forte pression sur les pièces à assembler, à l'aide de plateaux,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système de refroidissement des plateaux.



3. Schéma de principe

A l'accostage, l'effort sur les plateaux rapproche les pièces l'une contre l'autre et provoque ainsi un contact intime à l'endroit de la protubérance appelée bossage.
Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage et contient le noyau de métal en fusion.
Au refroidissement pendant la solidification du noyau, l'effort diminue le volume de la retassure et affine le grain du métal.
Lorsque l'opération est achevée, la protubérance est totalement résorbée dans la tôle.



4. Domaines d'application

Le soudage par bossage permet le soudage de pièces de formes diverses : écrous, goujons, vis traversantes, rond sur rond en orthogonal, rond sur rond en longitudinal, rond sur rond perpendiculaire, rond sur tôles, tube sur tube etc.
Les domaines d'application sont similaires à ceux du soudage par résistance par points, voir aussi fiche n° 11.



FICHE 15

Soudage en bout par résistance

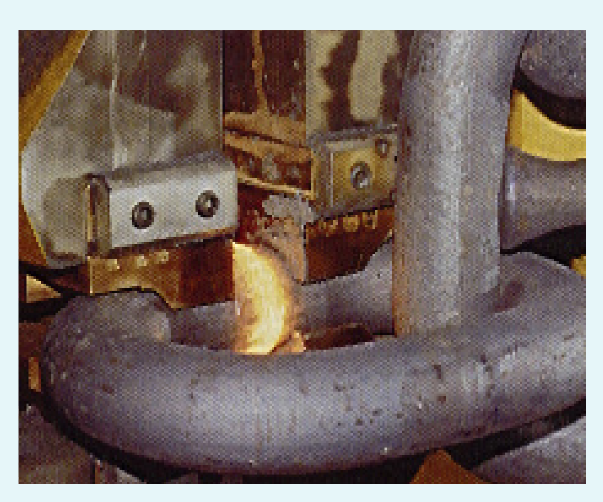
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'effet joule, dû au passage d'un courant basse tension et de forte intensité, est utilisé pour la fusion et le soudage de pièces en bout.
Voir aussi fiche n° 11 concernant le soudage par résistance par points, le principe du procédé étant le même,
Ce procédé est aussi appelé soudage en bout par résistance pure, pour le différencier du soudage en bout par étincelage décrit à la fiche n° 18.
Les pièces à assembler sont serrées dans des mâchoires qui assurent l'amenée du courant. Les faces à assembler doivent être soigneusement préparées et exemptes d'oxydes et de calamine.
Un effort important est exercé pendant l'opération de soudage pour maintenir un excellent contact.
Dès le passage du courant les pièces s'échauffent par effet joule.

2. Descriptif du matériel

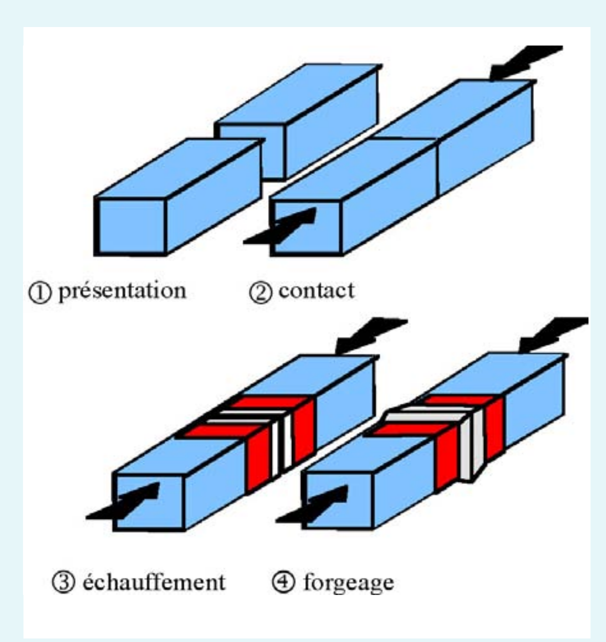
L'équipement comprend généralement :

- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins permettant d'exercer une forte pression sur les pièces à assembler, au travers de mors conducteur de courant,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système de refroidissement des mors.



3. Schéma de principe

A l'accostage, l'effort sur les mors rapproche les pièces l'une contre l'autre et provoque ainsi un contact intime des pièces à souder.
Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage.
Malgré une prédominance à l'interface, l'échauffement se produit sur toute la partie des pièces comprises entre les mors.
Lorsque la température atteinte permet le soudage par forgeage, on applique un effort qui fait refouler le métal.
Le métal à l'état plastique forme un bourrelet de part et d'autre de la section du joint.



4. Domaines d'application

Le soudage en bout par résistance pure ne peut s'effectuer que sur des métaux ayant la même résistivité et la même section.
Il est utilisé pour le soudage de barres, de fils etc.



Soudage vertical sous laitier

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Il s'agit d'un procédé automatique.
L'opération de soudage consiste à effectuer une soudure en une seule passe sur des pièces placées verticalement et entre lesquelles on a ménagé un écartement sans préparation spéciale des bords.
Le fil électrode est fondu par effet joule dans un flux électroconducteur liquide.
Le bain de fusion est maintenu par des sabots en cuivre qui se déplacent verticalement en fonction de la vitesse de fusion du fil d'apport.

2. Descriptif du matériel

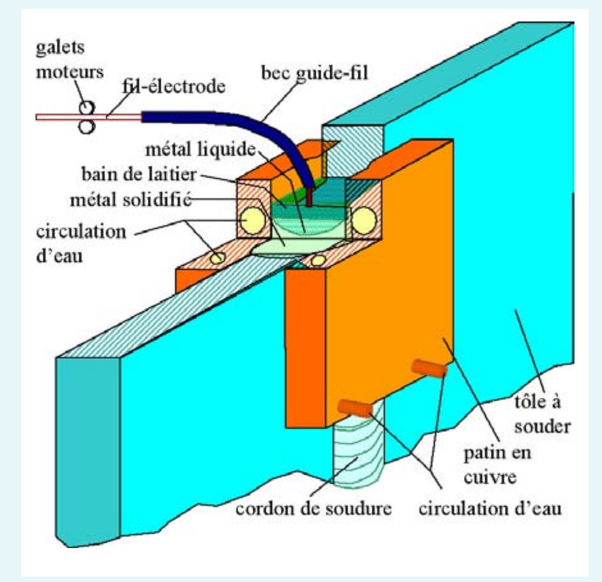
L'équipement comprend généralement :

- une source de courant continu pouvant fournir 1 000 A avec un facteur de marche 100 %,
- un ou des dévidoirs pour fil électrode,
- un ou des guides fils fusibles ou non,
- une potence pour translation automatique verticale,
- un coffret de commande,
- des sabots latéraux en cuivre refroidis par la circulation d'un fluide caloporteur.



3. Schéma de principe

Le ou les fils d'apport, fixes ou animés d'un mouvement de translation horizontale dans le plan de joint plongent dans un bain de laitier. Ils y fondent par effet joule.
Le soudage vertical sous laitier n'est pas un procédé de soudage à l'arc électrique bien que ce régime soit nécessaire quelques instants au démarrage.
Le bain de fusion et le bain de laitier sont maintenus dans le joint par des patins de cuivre refroidis qui se déplacent verticalement au fur et à mesure de l'avance de la soudure.



4. Domaines d'application

Ce procédé est exclusivement adapté pour le soudage vertical en montant de tôles pouvant atteindre 500 mm d'épaisseur.
Cette technique est principalement utilisée dans les chantiers navals ou pour la fabrication de réservoirs de forte épaisseur, de bâtis de machine.
Il faut noter que le cycle de soudage entraîne une structure grossière qu'il est souvent nécessaire de régénérer par traitement thermique.



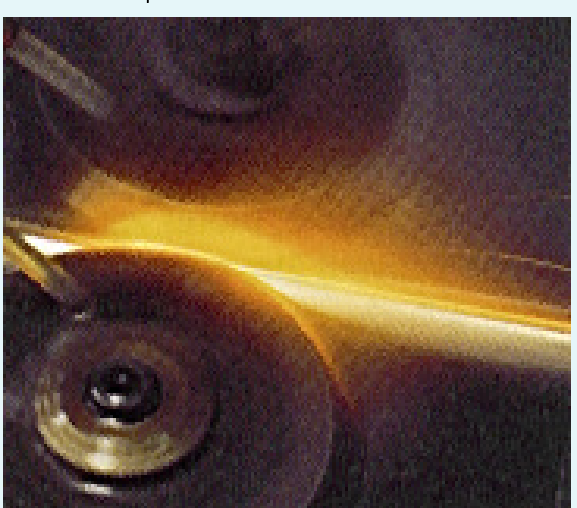
Soudage par induction

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

En soudage par induction la fusion des pièces à assembler est obtenue par l'effet joule en provenance de courants qui sont induits dans les pièces à souder par des inducteurs parcourus par des courants basse, moyenne et haute fréquences.
Pour les courants basse et moyenne fréquences (4 à 5 KHz) le chauffage est obtenu par effet joule et le soudage s'opère comme en soudage en bout par résistance (voir fiche n° 15), avec refoulement pour assurer la liaison.
Pour les courants haute fréquence (200 à 500 KHz) les courants induits sont localisés en peau sur quelques dixièmes de millimètres.

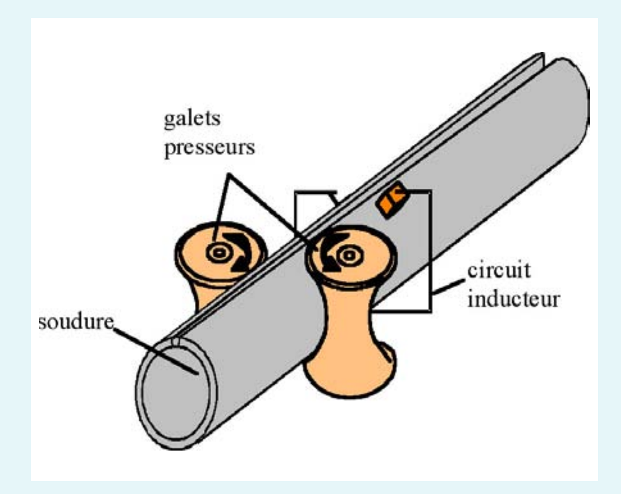
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une source de puissance de 50 à 1 200 KW pour des fréquences de 200 à 500 KHz,
- un inducteur appelé aussi bobine d'induction, constitué généralement de tube, barre ou feuillard de cuivre et refroidi à l'eau,
- des systèmes de contrôle de la puissance, de la vitesse de déplacement, de la température atteinte,
- un système mécanique pour l'alignement précis des bords à souder, l'application de la pression et le déplacement des pièces sous l'inducteur.



3. Schéma de principe

Dans l'exemple présenté au schéma de principe ci-après et qui concerne le soudage de tubes à très grande vitesse, on observe :
- la présence de l'inducteur qui est parcouru par un courant haute fréquence en provenance de la source de puissance,
- des courants (dits De Foucault) sont induits dans le tube,
- par effet joule ces courants fondent les bords des tubes,
- les galets pressent les bords des tubes et assurent à la fois un effet de forgeage et le déplacement à grande vitesse.



4. Domaines d'application

L'utilisation majeure du soudage par induction concerne l'exécution de la soudure longitudinale de tubes réalisés à partir de tôles ou de feuillards « roulés soudés » sur des machines automatiques spécialement étudiées pour cet usage.
Ces soudures peuvent être rectilignes ou hélicoïdales.
La vitesse de soudage peut atteindre 30 m/s.
Les métaux pouvant être assemblés sont les aciers carbone et alliés, les aciers inoxydables ferritiques et austénitiques, les alliages d'aluminium, de cuivre, de titane et de nickel.



Soudage en bout par étincelage

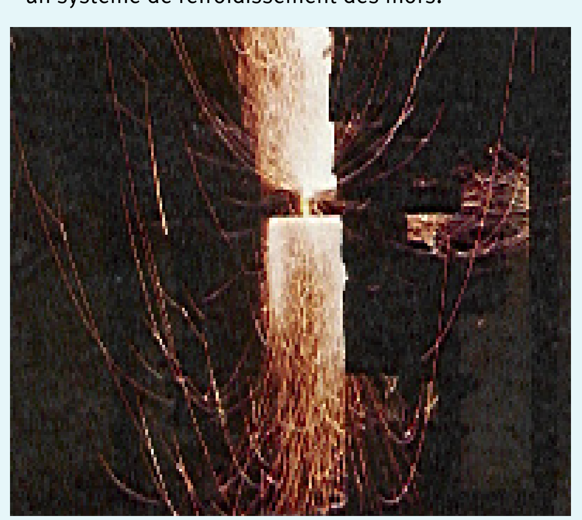
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'effet joule dû au passage d'un courant basse tension et de forte intensité, est utilisé pour la fusion et le soudage de pièces en bout.
Voir aussi fiche n°15 concernant le soudage en bout par résistance pure, le principe en étant très voisin.
Contrairement au soudage en bout par résistance pure, les faces à assembler n'ont besoin d'aucune préparation particulière. Au contraire, il faut que le contact entre les pièces soit imparfait.
Lors du passage d'un courant intense au travers des aspérités réparties sur les faces du joint, il se produit des arcs avec éjection et vaporisation du métal fondu vers l'extérieur du joint. C'est le début de l'étincelage.
Dès la fin de l'étincelage, un effort de refoulement est appliqué, repoussant sous forme de bavure la mince couche de liquide qui demeure à la surface de contact.

2. Descriptif du matériel

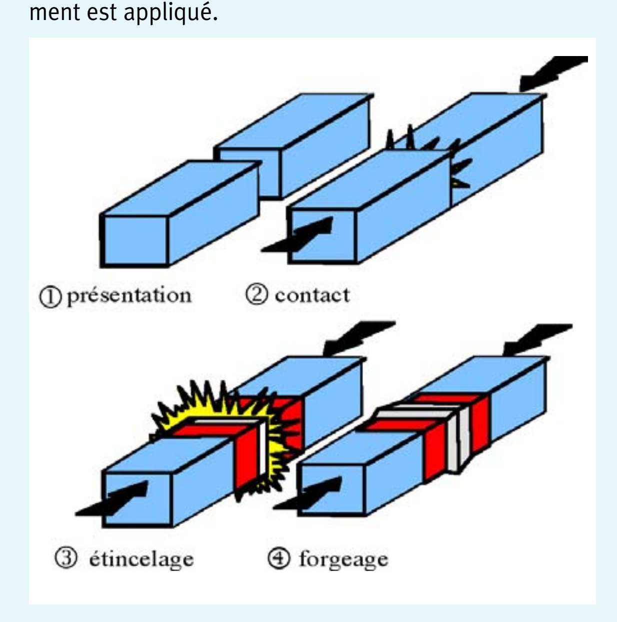
L'équipement comprend généralement :

- un transformateur statique délivrant des intensités au secondaire pouvant atteindre 200 KA sous un faible potentiel, dans un temps très court,
- un bâti avec vérins permettant, au travers de mors conducteurs de courant, d'effectuer la mise en contact, l'étincelage et le forgeage,
- un coffret de commande pour le réglage des différents paramètres de soudage,
- un système de refroidissement des mors.



3. Schéma de principe

Les pièces à assembler saisies dans les mors sont mises en contact afin de démarrer la phase d'étincelage.
Les éjections de métal créent de nouvelles aspérités qui, à leur tour, provoquent de nouvelles éjections de métal ; le phénomène s'étendant à toute la section à assembler.
A la fin de la phase d'assemblage, un effort de refoulement est appliqué.



4. Domaines d'application

Le soudage par étincelage permet le soudage de tôles et de tubes minces, de pièces de résistivité et de sections différentes.
Il est applicable à la plupart des métaux soudables.
Il est très utilisé dans l'industrie automobile, électrique, aéronautique, et pour le soudage en atelier et sur chantier de rails pour voies de chemin de fer.



FICHE 19

Soudage par faisceau d'électrons

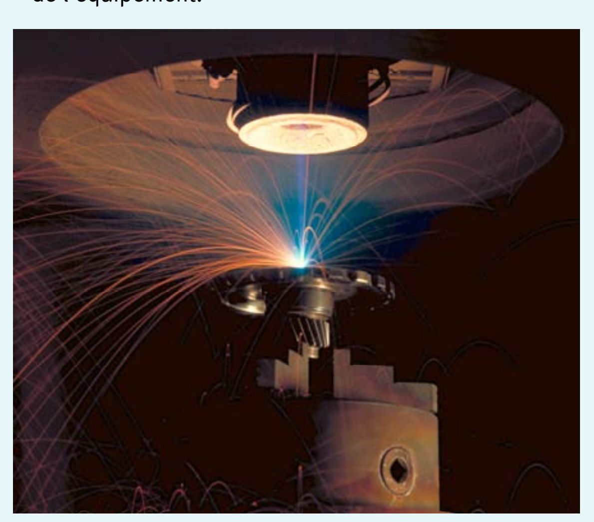
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

On utilise dans le vide (10^{-3} à 10^{-5} torr) un faisceau d'électrons que l'on focalise sur le joint à souder.
L'énergie cinétique des électrons est transformée en énergie calorifique au moment de leur impact sur les pièces provoquant ainsi la fusion des bords des pièces à assembler.
Le faisceau d'électrons est concentré sur une surface de quelques dixièmes de millimètre et produit une fusion instantanée et très localisée.
En général, il n'est pas nécessaire d'utiliser un métal d'apport.

2. Descriptif du matériel

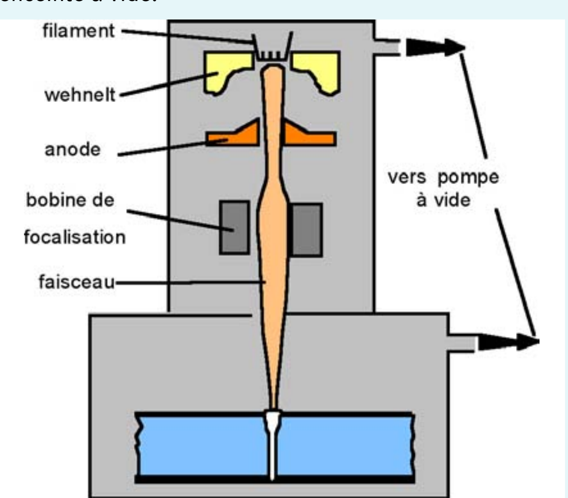
L'équipement comprend généralement :

- une source de courant redressé fournissant la tension d'accélération des électrons (de 50 à 150 kV),
- un canon à électrons comprenant cathode, anode, bobines de focalisation,
- une enceinte de soudage dans laquelle on effectue le vide,
- un groupe de pompage pour effectuer le vide dans l'enceinte de soudage,
- une table à commande numérique pour déplacement des pièces à souder,
- un pupitre de commande et de contrôle de l'ensemble de l'équipement.



3. Schéma de principe

La cathode qui peut être en tantale est chauffée jusqu'à 2 400° C (selon la nature de la cathode).
La cathode complémentaire Wehnelt, en plus de son rôle électronique, facilite la concentration du faisceau d'électrons.
Les électrons en provenance de la cathode sont accélérés grâce à une différence de potentiel très élevée (50 à 150 kV) appliquée entre l'anode et la cathode.
Le faisceau d'électrons obtenu est concentré par l'intermédiaire d'une bobine de focalisation électromagnétique.
Les électrons sont accélérés dans le vide.
Les pièces à assembler sont positionnées dans une enceinte à vide.



4. Domaines d'application

Le soudage par faisceau d'électrons est utilisé dans la plupart des domaines industriels tels que l'automobile, l'aéronautique et le spatial, le nucléaire, l'électroménager, l'électronique, la pétrochimie.
Pratiquement tous les métaux peuvent être assemblés par ce procédé, pour des pièces allant jusqu'à 150 mm d'épaisseur, bord à bord, sans chanfrein, en une seule passe, avec peu de déformation du fait de l'étroitesse de la zone thermiquement affectée.
Cette technique a aussi quelques inconvénients : coût élevé du matériel, nécessité d'un excellent accostage des bords, limitation des dimensions des pièces du fait des dimensions de l'enceinte de soudage.



Soudage et coupage par faisceau laser

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Dans ce procédé, l'énergie transportée par un faisceau laser est utilisée pour le soudage et le coupage.
Le terme « laser » est le sigle d'une expression anglaise : « *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* »,
Une décharge électrique excite des molécules qui émettent des photons. Ces photons sont renvoyés par un miroir et stimulent l'émission d'autres photons.
Cette lumière cohérente et monochromatique est ensuite focalisée pour former le faisceau laser.
On utilise le laser à gaz (CO_2, He, N_2) qui émet d'une manière continue, ou le laser à solide YAG qui émet par pulsations.
En fonction de la puissance du faisceau laser mis en œuvre, le bain de fusion va se constituer différemment : soudage par conduction pour les puissances inférieures au kilowatt et soudage par pénétration au-dessus.
Un gaz ou mélange de soudage, généralement l'hélium, hélium argon ou hélium azote.

2. Descriptif du matériel

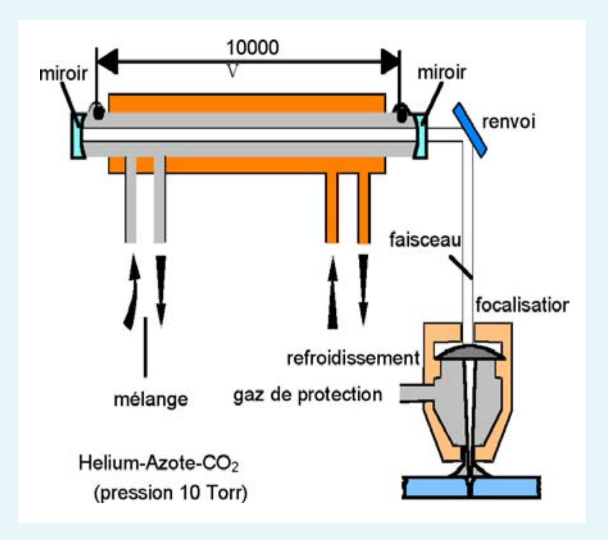
L'équipement comprend généralement :

- un laser équipé d'une tête de focalisation permettant le soudage et le coupage,
- un dispositif d'amenée de gaz de protection, le cas échéant,
- une table à commande numérique sur laquelle est placée la pièce à souder ou à couper,
- les dispositifs de sécurité associés au faisceau laser.



3. Schéma de principe

A la sortie de la tête de focalisation, l'énergie du faisceau laser crée un trou, dont le diamètre est approximativement celui du faisceau, et qui s'étend à toute l'épaisseur du métal.
Il se forme ainsi une cavité remplie de vapeur surchauffée et enveloppée de métal fondu.
La cavité appelée aussi « trou de serrure » se maintient en équilibre dynamique à l'intérieur du métal, créant ainsi une zone de fusion et de solidification constituant le cordon de soudure.



4. Domaines d'application

Une source laser permet de souder, couper, percer et faire du traitement thermique de surface en changeant simplement de focale.
La plupart des matériaux peuvent être travaillés en découpe (métaux, bois, textile,...).
Les matériaux à conductibilité thermique élevés (Al, Cu, Ag, Au, etc.) nécessitent des puissances élevées.
Le coupage laser peut être utilisé en grande vitesse. La coupe est étroite et de bonne qualité. Il y a peu d'impact thermique et de déformation des pièces.



FICHE 21

Soudage par faisceau laser hybride

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Dans ce procédé, l'énergie transportée par un faisceau laser (voir fiche 20) est utilisée pour le soudage en combinaison avec un autre procédé de soudage TIG, MAG ou MIG.
La combinaison des deux procédés améliore :
- les tolérances d'accostage,
- la vitesse de soudage,
- l'aspect métallurgique.

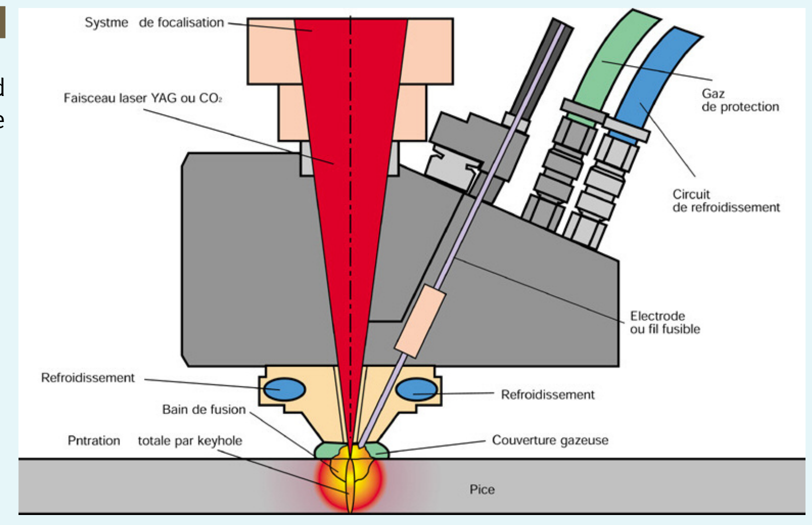
2. Descriptif du matériel

Sur une tête robotisée ou automatisée, on trouve soit une tête de soudage regroupant le faisceau laser et le second procédé, soit à la suite deux ou plusieurs têtes de soudage, la première étant la tête laser, les suivantes étant les têtes des autres procédés.



3. Schéma de principe

Le faisceau laser et l'arc du second procédé sont ici concentrés sur le même point.



4. Domaines d'application

Procédé hybride laser – TIG :
- Pas de métal d'apport.
- Applicable aux faibles épaisseurs (< 5mm) :
  - amélioration de la soudabilité opératoire et métallurgique (diminution des vitesses de refroidissement),
  - augmentation de la vitesse de soudage à puissance laser équivalente (X2),
  - augmentation des tolérances d'accostage (jeu x2 à x4 en fonction de l'épaisseur à souder),
  - amélioration de l'aspect du cordon de soudure (lissage).

Procédé laser – MIG ou MAG :
- Procédé à fort taux de dépôt.
- Epaisseurs soudées plus importantes (fonction de la puissance du laser et de la préparation de joint) :
  - amélioration de la soudabilité opératoire et de la soudabilité métallurgique (métal d'apport),
  - augmentation de la vitesse de soudage à puissance laser équivalente (X2),
  - augmentation des épaisseurs soudées à puissance laser équivalente,
  - augmentation des tolérances d'accostage (jeu x10).



FICHE 22

Soudage à la flamme oxy-acétylènique

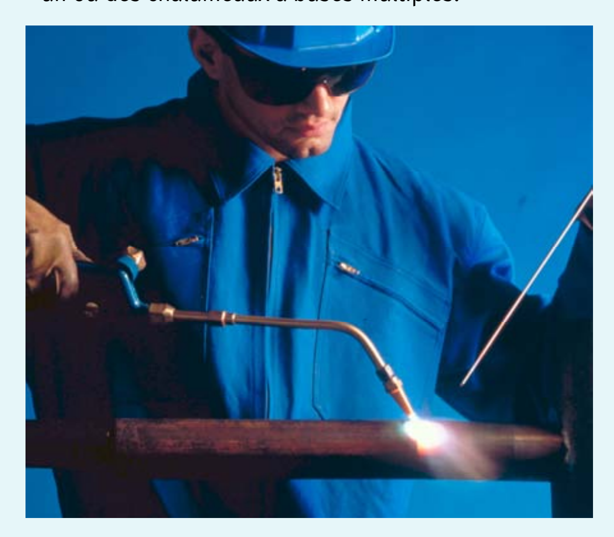
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par une flamme oxy-acétylènique résultant de la combustion d'un mélange d'oxygène et d'acétylène. L'acétylène peut être utilisé comme gaz combustible pour le soudage, du fait, d'une part, de la haute température pouvant être atteinte dans le dard (3 100° C), et, d'autre part, de la qualité de l'atmosphère gazeuse, consécutive à la réaction chimique lors de la combustion, qui protège le métal en fusion de l'oxydation et permet également la réduction des oxydes présents dans le bain de fusion.

2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :

- une alimentation en gaz qui, selon l'importance de l'installation et la nécessité de mobilité, s'effectue à partir d'une centrale d'alimentation ou d'un poste mobile équipé d'une bouteille d'oxygène et d'acétylène,
- des détendeurs pour délivrer les gaz à la pression d'utilisation, limité à 1,5 bar pour l'acétylène,
- des dispositifs de sécurité par exemple anti-retour avec arrêt de flamme,
- un ou des chalumeaux à buses multiples.

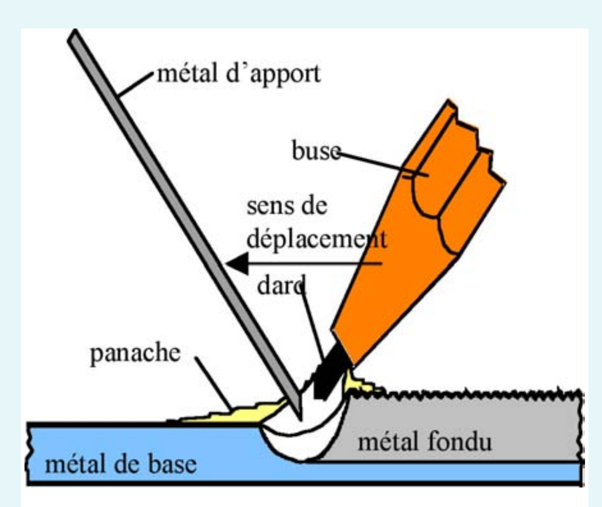


3. Schéma de principe

La flamme est le volume occupé par mélange oxygène et combustible en combustion.
En fonction des réglages on obtient :

- une flamme normale réductrice,
- une flamme oxydante,
- une flamme carburante.

En soudage on utilise une flamme normale. Le réglage est facile à exécuter par l'observation de la géométrie de la flamme.
Un métal d'apport est apporté manuellement par le soudeur.



4. Domaines d'application

Procédé manuel par excellence, le soudage oxy-acétylènique permet l'assemblage des aciers courants, des aciers alliés, des fontes, et d'un grand nombre de métaux non ferreux, pour des épaisseurs inférieures à 6 mm.
Il convient parfaitement bien à l'assemblage de tuyauteries par exemple dans le domaine du chauffage central, du sanitaire.
La flamme oxy-acétylènique est également utilisée en brasage fort et soudo brasage (voir fiches 27 et 28).



Coupage oxy-combustible

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le coupage oxy-combustible utilise l'énergie thermochimique en combinant une réaction chimique (combustion/oxydation de l'acier) et l'action physique de souffler le laitier de la saignée grâce à l'énergie cinétique du jet d'oxygène. La présence des flammes de préchauffage est nécessaire pour amorcer la réaction chimique et alors de la maintenir correctement.
Pour que le coupage avec oxygène d'un métal soit possible, trois conditions fondamentales doivent être remplies :
- la combustion du métal en question par l'oxygène doit être suffisamment exothermique,
- la chaleur produite par la réaction doit être suffisante pour maintenir le métal à une température à laquelle la réaction peut continuer (température d'amorçage),
- la température d'amorçage de la réaction doit être inférieure au point de fusion du métal en question. Le point de fusion de l'acier est 1 535°C alors que la combustion de l'acier par l'oxygène commence environ à 1 300°C,
- l'oxyde produit doit avoir un point de fusion inférieur au point de fusion du métal.

Quand on démarre le coupage oxy-combustible, le jet cylindrique qui traverse l'épaisseur de la tôle, on trouve successivement :
- un film d'oxydes,
- un film de métal liquide du au chauffage très violent associé au phénomène lui-même,
- du métal solide.

2. Descriptif du matériel

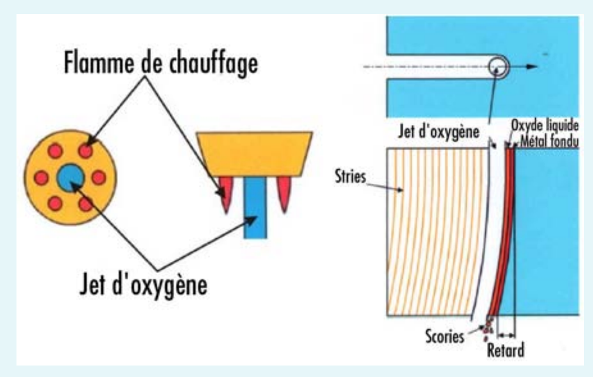
L'outil de travail est un chalumeau coupeur alimenté par les gaz appropriés (oxygène et gaz combustible). Sa construction est dérivée de celle des chalumeaux de soudage traditionnels.
Les chalumeaux coupeurs sont de deux catégories :
- les chalumeaux manuels,
- les chalumeaux machines.



Le choix de la tête de coupage est fonction du chalumeau, du combustible et de l'épaisseur à souder.
Les gaz combustibles sont généralement : l'acétylène, le propane, le tétrène, le crylène.

3. Schéma de principe

Toutes les têtes de soudage comprennent :
- une ouverture centrale de grande précision pour le jet d'oxygène,
- une série d'ouvertures arrangées en rond autour de l'ouverture centrale pour la formation des flammes de chauffage.



4. Domaines d'application

Le coupage oxy-combustible n'est possible que sur aciers non alliés et faiblement alliés.

- **De 3 à 6 mm**
  Les coupages laser, plasma et oxy-combustibles sont possibles.
  Vitesse, qualité de coupe et précision sont inversement proportionnels à l'investissement. Toutefois, quand l'épaisseur augmente, les vitesses de coupage chutent notablement, ce qui peut rendre le plasma plus attractif.
- **De 6 à 20 mm**
  Les coupages plasma et oxy-combustible sont en compétition. Le plasma est plus rapide mais les faces de coupe ne sont pas toujours parfaitement droites.
- **Au delà de 30 mm**
  Le coupage oxy-combustible est le plus attractif car l'avantage de la vitesse du plasma n'existe plus.



Soudage par ultrasons

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Les ultrasons sont des ondes de haute fréquence (20 à 50 kHz) qui, transmises à un matériau, le font vibrer.
Il s'agit d'un procédé de soudage à froid en phase solide où les atomes de l'interface à assembler se combinent entre eux grâce aux forces d'attraction interatomiques.
L'assemblage se fait par recouvrement, les pièces sont serrées l'une contre l'autre entre une « enclume » et « une sonotrode » qui produit des vibrations transversales ainsi que des frictions localisées qui décapent les surfaces et élèvent la température jusqu'à la formation de la soudure.

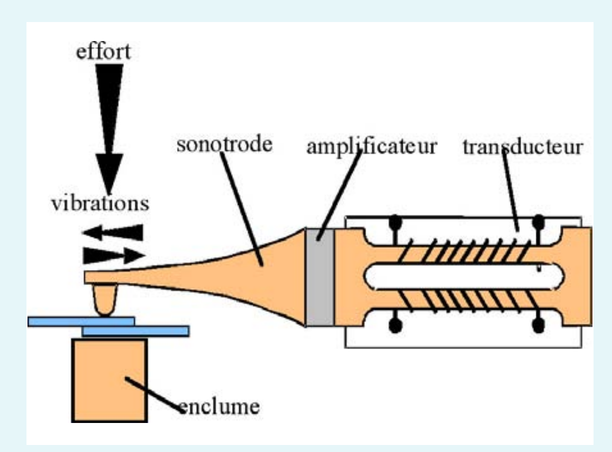
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- un générateur électronique qui fournit l'énergie électrique haute fréquence (H.F.) pour la mise en vibration de la tête de soudage,
- une tête de soudage comportant un transducteur, un amplificateur, une sonotrode,
- une enclume support,
- l'installation a l'apparence d'une machine à souder par résistance.



3. Schéma de principe

Le transducteur transforme l'énergie électrique du générateur H.F. en énergie vibratoire.
Les vibrations sont amplifiées par un amplificateur, pièce métallique en titane ou en duraluminium accordée sur la fréquence de l'émetteur.
Pendant le soudage un volume infime de métal se trouve porté à la température de recristallisation.
L'élément à assembler côté enclume peut être d'épaisseur quelconque, tandis que l'épaisseur côté sonotrode est fonction de la puissance du générateur et de la nature du matériau.



4. Domaines d'application

Ce procédé permet l'assemblage homogène ou hétérogène de métaux de faible épaisseur ainsi que celui des matières plastiques.
La plus importante application est l'assemblage de composants électroniques miniaturisés tels que des fils d'aluminium ou d'or sur des semi-conducteurs.
Il est également utilisé dans l'industrie électrique pour les fils de bobinage, dans l'emballage et l'encapsulage (tube dentifrice par exemple), pour les panneaux solaires...



Soudage par friction

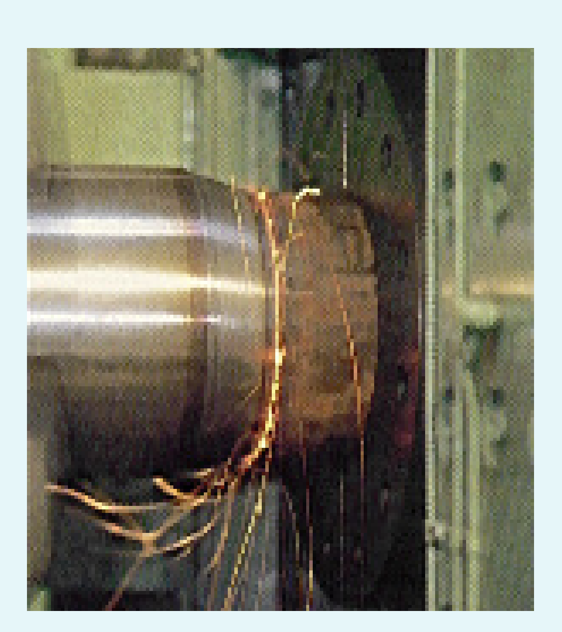
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Il s'agit d'un procédé de soudage qui s'effectue à l'état solide, sans fusion ni dilution.
Les pièces généralement de révolution sont serrées l'une contre l'autre. L'une est mise en rotation de sorte que le frottement engendre à l'interface la chaleur nécessaire au soudage.
Quand la région du joint devient suffisamment plastique, sous l'effet d'élévation de la température, on arrête la rotation et on augmente l'effort axial pour forger.

2. Descriptif du matériel

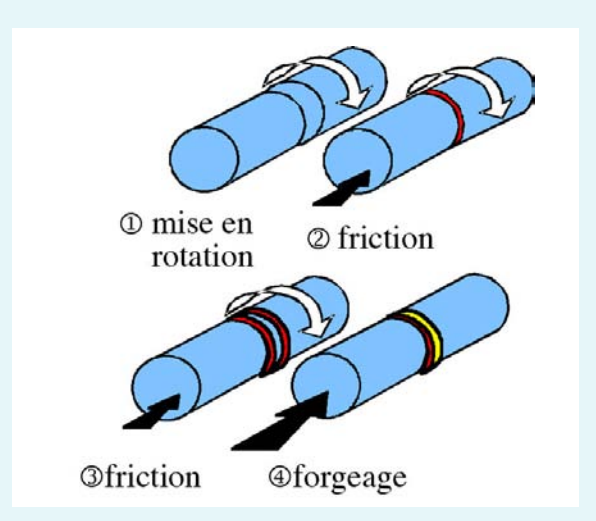
L'équipement comprend généralement une machine de soudage par friction qui comporte :

- un dispositif de mise en rotation des pièces qui peut être à entraînement direct ou par inertie. Ce système est équipé d'un dispositif de freinage puissant,
- des mors pour la saisie des pièces. Ils assurent également l'action de forgeage,
- une armoire de commande et de réglage des paramètres.



3. Schéma de principe

Les pièces à assembler sont placées dans les mors de la machine.
Une des pièces est mise en rotation de façon à apporter la chaleur nécessaire au soudage.
Après arrêt de la rotation, un effort axial de forgeage est effectué.
Les deux paramètres essentiels sont la pression et la vitesse de rotation.
Pour l'acier doux on choisit une vitesse circonférentielle de 75 à 150 m/min.
La pression est le paramètre prépondérant, de 150 à 750 bar sur l'acier. Elle influe sur la température à l'interface.



4. Domaines d'application

Le soudage par fusion, concurrent du soudage par étincelage (voir fiche n° 18), est largement utilisé en fabrication mécanique et forgée, pour l'automobile, l'aéronautique, l'agriculture, la défense, l'industrie pétrolière.
Il nécessite des machines puissantes et adaptées aux pièces à souder et, de ce fait, s'applique essentiellement aux travaux de grandes séries.
Ce procédé de soudage sans fusion ni dilution permet l'assemblage de matériaux métalliques pour lesquels les autres procédés entraînent des difficultés d'ordre métallurgique.



Soudage par friction malaxage (*Friction Stir Welding, FSW*)

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

La chaleur est fournie au métal de base par friction, forgeage et extrusion du métal par un pion fixé sur une embase qui tourne dans le plan de joint des pièces à assembler. Une couche de métal sous forme plastique et pâteuse est formée sous l'embase et autour du pion. Ce procédé qui réalise l'assemblage à une température inférieure à la température de fusion du métal à assembler déforme moins que les procédés par fusion.

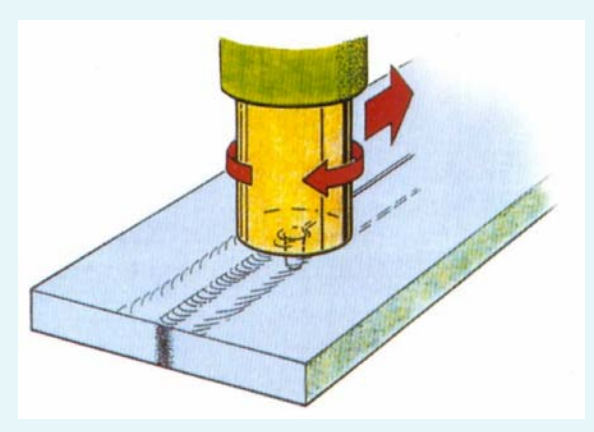
2. Descriptif du matériel

Un outil cylindrique constitué d'une embase et d'un pion est mis en rotation et inséré dans l'interface des deux pièces à assembler. Les deux pièces sont fixées sur une table support.



3. Schéma de principe

Le schéma montre l'outil avec le pion dans les tôles à assembler.
Le métal devant la tige est mis sous forme pâteuse par écrasement puis transporté derrière la tige par forgeage et brassage.
La forme de l'outil force le métal à l'état pâteux à revenir derrière le pion.



4. Domaines d'application

Il s'utilise essentiellement sur des alliages d'aluminium, les alliages utilisés pour réaliser les outils ne résistant pas longtemps sur les matériaux plus durs.
Il présente les avantages suivants :
- procédé simple et efficace au niveau énergétique,
- pas de préparation particulière des bords à souder,
- propreté, respect pour l'environnement (pas de fumée, pas de décapage chimique),
- pas de besoins en consommables (métal d'apport, gaz de protection, outils),
- peu de déformations, qualité reproductible,
- soudage d'alliages difficilement soudables par procédés classiques,

ainsi que les avantages métallurgiques suivants :
- élimine le risque d'apparition de soufflures et fissuration,
- pas de pertes d'éléments d'alliages,
- action de brassage et forgeage ➟ structure travaillée à chaud fine,
- bonnes propriétés mécaniques : statiques / fatigue,
- procédé robuste.



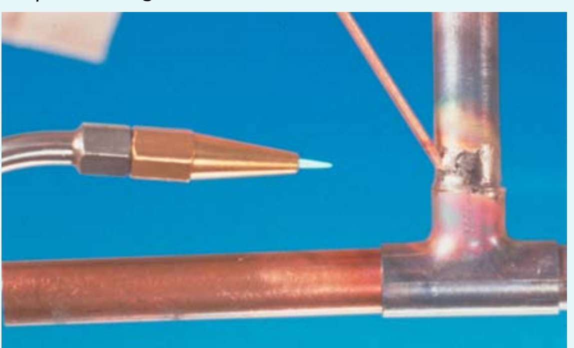
Brasage fort

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le brasage fort est un procédé d'assemblage qui assure la continuité métallique des métaux de base à assembler en les chauffant avec une flamme oxy-combustible à une température convenable et en utilisant un métal d'apport dont le liquidus est supérieur à 450° C et inférieur au solidus des métaux de base.
Les pièces doivent être conçues de manière à assurer au métal d'apport un espace capillaire. Il s'agit donc d'assemblages réalisés par emboîtement ou recouvrement.
Le métal d'apport, d'une grande fluidité, pénètre par capillarité entre les surfaces des joints soigneusement nettoyés et ajustés.
Il s'agit d'un assemblage hétérogène puisqu'il n'y a pas de continuité chimique entre le métal d'apport et les pièces à assembler.

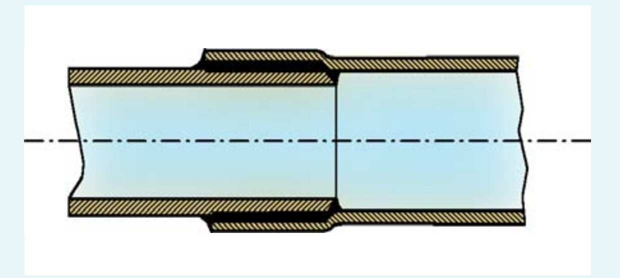
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- un mode de chauffage approprié soit : chalumeau, four, induction, résistance, infrarouge, au trempé,...
- des équipements pour le nettoyage des pièces avant brasage,
- un métal d'apport approprié en fonction des nuances à assembler et de la destination des pièces,
- des flux ou atmosphères de protection afin d'éviter l'oxydation des pièces portées à température,
- des équipements de nettoyage des assemblages après brasage.



3. Schéma de principe

Il s'agit d'assemblage de tubes en cuivre par emboîtement, technique très utilisée par exemple dans les installations sanitaires et amenées de gaz aux chaudières domestiques.
L'emboîtement doit être « serré » et respecter les tolérances définies par les normes des tubes cuivre et manchons.
Les parties à assembler doivent être dégraissées et décapées, et enduites d'une pâte dénommée flux évitant l'oxydation lors du chauffage.
Sur chantier le chauffage est effectué au chalumeau aéro-gaz ou oxy-gaz.
Après brasage, il faut éliminer soigneusement les résidus de flux.



4. Domaines d'application

Pratiquement tous les métaux et alliages peuvent être assemblés par brasage fort : aciers, aluminium, cuivre, laiton, bronze, cupro-aluminium, nickel et alliages, métaux précieux...
Tous les secteurs industriels sont concernés depuis l'artisanat (plombier par exemple) jusqu'à l'aéronautique, le spatial, le nucléaire...
Il peut s'agir d'assemblages réalisés à l'unité avec des équipements modestes, ou bien en grande série avec des moyens industriels conséquents (fours à atmosphères contrôlées par exemple).



Soudo-brasage

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le soudo-brasage est un procédé d'assemblage qui assure la continuité métallique des métaux de base à assembler en les chauffant à une température convenable et en utilisant un métal d'apport dont le liquidus est supérieur à 450° C et inférieur au solidus des métaux de base.
Les pièces à assembler sont préparées comme pour le soudage au chalumeau, c'est-à-dire bout à bout, angle...
Le métal d'apport, qui possède des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des alliages de brasage, est déposé à l'état liquide, de proche en proche, sur les bords préalablement portés à la température de mouillage.
Il s'agit d'un assemblage hétérogène puisqu'il n'y a pas de continuité chimique entre le métal d'apport et les pièces à assembler.

2. Descriptif du matériel

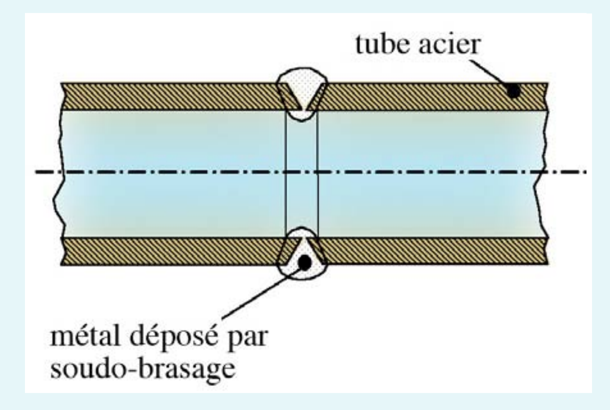
L'équipement comprend généralement :

- un mode de chauffage approprié généralement chalumeau oxy-gaz, TIG ou en MIG,
- un métal d'apport dont la composition chimique est fonction des nuances à assembler,
- dans le cas d'une flamme oxy-combustible un flux de décapage qui peut être amené sous forme d'enrobage du métal d'apport.



3. Schéma de principe (cas flamme oxy-combustible)

Il s'agit de l'assemblage d'un tube en bout à bout dont l'exécution peut être effectuée à l'aide d'un chalumeau oxy-gaz).
Afin que le mouillage et la diffusion se réalisent correctement, le chauffage sera effectué dans un intervalle précis de températures.
Si la température est trop faible, le mouillage sera insuffisant : il y aura « collage des pièces ».
Si la température est trop élevée, le mouillage sera difficile et l'on risque une modification de la nature chimique de l'alliage d'apport.



4. Domaines d'application

Le soudo-brasage est utilisé en construction dans un grand nombre d'industries, par exemple en automobile pour des parties de carrosserie (soudage MIG), en ameublement métallique, en tôlerie, dans le bâtiment pour des tuyauteries industrielles ou domestiques (galvanisées par exemple)...
Le soudo-brasage est aussi un moyen de réparation de pièces cassées, notamment en fonte.



Brasage tendre

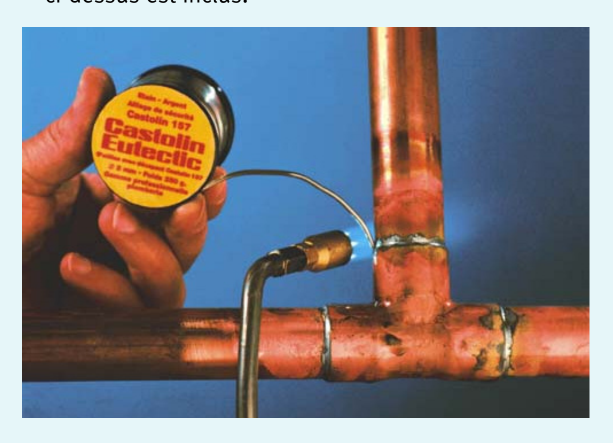
1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le brasage tendre est un procédé d'assemblage qui assure la continuité métallique des métaux de base à assembler en les chauffant à une température convenable et en utilisant un métal d'apport dont le liquidus n'excède pas 450° C et inférieur au solidus du métal de base.
Le métal d'apport se répartit entre les parois soigneusement ajustées du joint par effet capillaire et laisse à la surface du métal de base une pellicule continue et permanente. On dit qu'il mouille cette surface.
Le mouillage est indispensable au processus de brasage.
Il s'agit d'un assemblage hétérogène puisqu'il n'y a pas de continuité chimique entre le métal d'apport et les pièces à assembler.

2. Descriptif du matériel

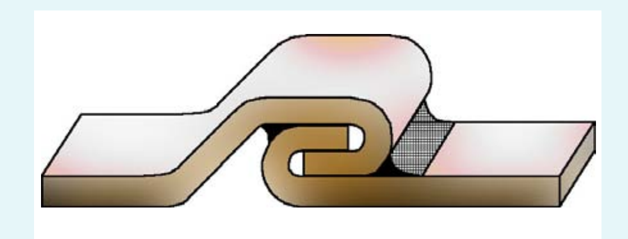
L'équipement comprend généralement :

- un mode de chauffage approprié soit : fer à braser, chalumeau, four, induction, résistance, infrarouge, au trempé, au pistolet de projection,...
- des équipements pour le nettoyage des pièces avant brasage,
- un métal d'apport approprié en fonction des nuances à assembler et de la destination des pièces,
- des flux ou atmosphères de protection afin d'éviter l'oxydation des pièces portées à température,
- des équipements de nettoyage des assemblages après brasage,
- dans les équipements de brasage à la vague utilisés sur des chaînes de fabrication, tout ce qui est indiqué ci-dessus est inclus.



3. Schéma de principe

Les métaux d'apport de brasage tendre présentent en général une résistance mécanique inférieure à celle des métaux à assembler. La conception des pièces doit en tenir compte afin que l'assemblage puisse supporter les contraintes. C'est le cas dans l'exemple du schéma de principe qui présente un assemblage agrafé.
Après nettoyage, les pièces sont portées à température (fonction du point de fusion du métal d'apport).
Le métal d'apport pénètre par capillarité.
L'effet de mouillage laisse à la surface du métal de base une pellicule continue.



Assemblage agrafé avec soyage

4. Domaines d'application

Le brasage tendre constitue l'un des procédés d'assemblage des métaux les plus anciens et les plus répandus.
Pratiquement tous les métaux et alliages peuvent être assemblés par brasage tendre : aciers, cuivre, laiton, bronze, étain, plomb, nickel et alliages, métaux précieux...
Il est aussi bien utilisé en artisanat que dans les industries de pointe telles que le spatial.
Ce procédé a pris un essor considérable à la suite des changements révolutionnaires intervenus dans l'industrie électronique, où l'on a dû faire face à la nécessité d'assembler par brasage des centaines de composants sur des circuits imprimés.



Soudage par aluminothermie

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

L'énergie calorifique, nécessaire à la fusion des bords à assembler, est fournie par une réaction chimique exothermique.
La technique consiste à faire réagir un mélange d'oxydes métalliques et de poudre d'aluminium contenu dans un creuset.
Pour le soudage de l'acier, c'est avec l'oxyde ferrique que l'on obtient les meilleurs résultats.
La réaction dégage une grande quantité de chaleur qui fait fondre les produits de la réaction et donne du fer liquide que l'on verse dans un moule contenant les extrémités des pièces à assembler.

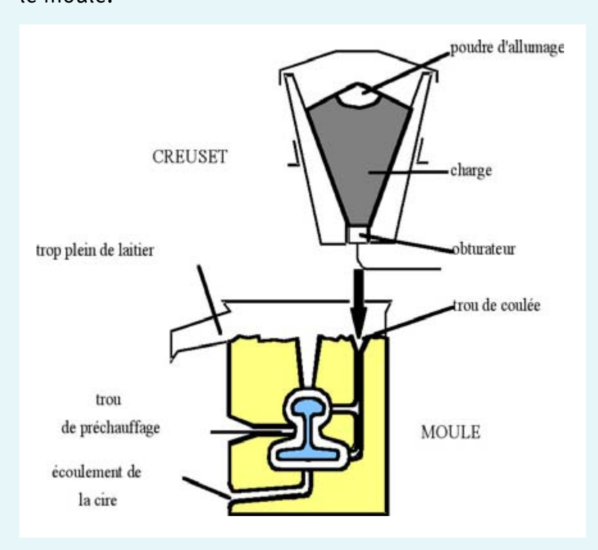
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- un creuset de fusion,
- une charge constituée par un mélange de poudre d'aluminium et d'oxyde de fer,
- un moule métallique contenant les extrémités des pièces à assembler, du sable de moulage, un canal de coulée, un ou des évents, un ou plusieurs trous permettant le préchauffage des pièces.



3. Schéma de principe

La charge est située dans un creuset au-dessus du moule.
La réaction qui ne démarre qu'au-dessus de 1 300° C nécessite l'utilisation d'une petite quantité de poudre d'allumage.
La réaction ne dure que trente à cent vingt secondes quel que soit le volume de la charge.
A la fin de la réaction, le métal liquide se trouve à la partie inférieure du creuset.
Il ne reste alors plus qu'à introduire le métal liquide dans le moule.



4. Domaines d'application

La première application de ce procédé est le raboutage des rails.
Il est également utilisé en construction navale ou dans l'industrie lourde.
Il peut s'appliquer aussi au soudage des alliages cuivreux, avec des charges adaptées.



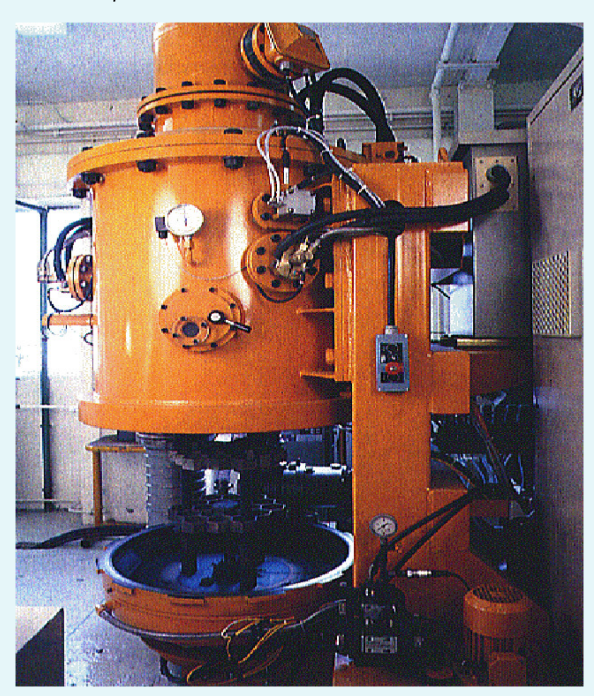
Soudage par diffusion

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Dans ce procédé opérant en phase solide de manière statique, les pièces sont maintenues en contact sous un effort donné et sont portées à une température définie pendant un temps contrôlé.
Il y a déformation plastique locale des surfaces et, du fait du contact intime de celles-ci, diffusion des atomes entre les éléments à assembler permettant ainsi d'obtenir la continuité de la matière.

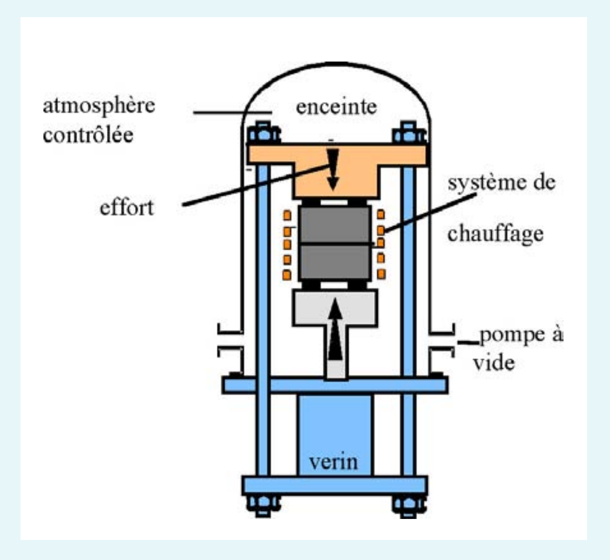
2. Descriptif du matériel

L'équipement comprend généralement :
- une enceinte équipée d'une pompe à vide afin que l'on puisse y établir une atmosphère contrôlée,
- un système de chauffage des pièces à assembler,
- un système de vérins pour application de la pression sur les pièces à assembler.



3. Schéma de principe

Les pièces usinées sont solidarisées par pression, chauffées à une température très inférieure à celle de la fusion et maintenues en contact.
La diffusion a lieu dans le métal suivant un processus faisant intervenir les lacunes du réseau cristallin, ou le long des joints de grains.



4. Domaines d'application

Ce procédé, qui s'est développé au sein des industries nucléaire et aérospatiale, est maintenant mis en œuvre dans l'aviation, l'électroménager et l'électronique.
Il est possible de souder entre eux des métaux de natures différentes, ou des métaux sur des matériaux différents.
Il s'agit en général de liaisons à caractère assez exceptionnel sur des pièces de petites dimensions.



Soudage par explosion

1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre

Le soudage par explosion utilise l'énergie libérée par une charge d'explosif pour provoquer entre deux surfaces à assembler une collision dirigée de telle sorte que la ligne de contact se déplace régulièrement pendant l'explosion.
L'explosion projette violemment le revêtement sur le support et un mince jet de métal plastifié jaillit en précédant le front de contact.

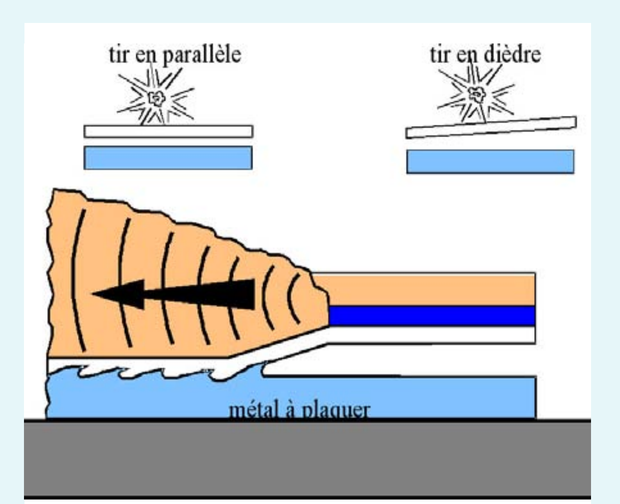
2. Descriptif du matériel

Compte tenu qu'il s'agit de mettre en œuvre des explosifs, il est nécessaire de disposer d'installations particulières qui sont forcément restreintes en nombre.
Les équipements varient en fonction de la nature des travaux à effectuer par exemple placage de tôles ou soudage de tubes sur plaques tubulaires.
S'agissant d'équipements très spécialisés, il n'est pas possible de les décrire ici.



3. Schéma de principe

La charge d'explosif, d'épaisseur uniforme, recouvre le placage disposé soit en parallèle, soit en dièdre.
Le jet de métal plastifié qui jaillit arrache les oxydes pouvant contaminer les surfaces et assure ainsi une propreté parfaite nécessaire à un joint de qualité.
On interpose entre l'explosif et le placage un amortisseur en caoutchouc ou en chlorure de polyvinyle pour éviter une détérioration.



4. Domaines d'application

Il est surtout utilisé pour la fabrication des matériaux plaqués, le soudage de tubes sur les plaques tubulaires et la fabrication d'éléments bi-métalliques.
Etant plus coûteux que le colaminage, le placage par explosion ne s'applique qu'aux liaisons difficiles, par exemple liaisons aluminium acier, métaux altérables à chaud Ti, Ta, Zr,...



4. Tableau de synthèse des procédés

Procédé	Application	Source d'énergie	Protection du bain	Type de métal d'apport	Nature du courant	Paramètres de soudage	Mode de fonctionnement
MIG/MAG	fabrication de charpentes métalliques	électrique	gaz	fil-électrode nu	CC	12-40 V 50 – 1 000 A	automatique, semi-auto, robotisé
FCAW	convoyeurs, réservoirs sous pression	électrique	gaz (sans gaz) et fondant	fil-électrode avec fondant au centre	CC	18-40 V 100-500 A	automatique, semi-auto, robotisé
MMA	tuyauterie, maintenance	électrique	fondant	baguette (électrode enrobée)	CC ou CA	17-45 V 10-550 A	manuel
TIG	tuyauterie haute pression, tôlerie	électrique	gaz	électrode de tungstène non fusible	CC ou CA	1 – 500 A	manuel ou automatique
PAW/PAC	fabrication métallique	électrique	gaz	électrode de tungstène non fusible	CC	30 – 1 000 A	automatique semi-auto, robotisé ou manuel
SAW	industrie minière, charpentes, réservoirs	électrique	fondant (granuleux)	fil-électrode nu ou avec fondant	CC ou CA	Max 1 500 A	automatique, semi-auto
AAC/AAG	fabrication métallique, réparation	électrique	/	électrode de carbone	CC, CA rarement	90 – 800 A	manuel ou automatique
RSW	automobiles, meubles, électroménager	électrique	/	électrode	CA	< 10 V et milliers A	automatique, semi-auto, robotisé ou manuel
OFW/OFC	aciers doux : toutes épaisseurs	thermo-chimique	décapant	baguette (métal d'apport)	/	/	automatique ou manuel
LBW/LBC	tout matériau : métal en feuille, bois, textile, etc	électrique	gaz	/	/	/	automatique ou robotisé

Chapitre 2

Les risques liés aux fumées et aux gaz



A. Les fumées et les gaz de soudage et de coupage

- **Nature**

Les produits générés lors du soudage et du coupage sont de deux natures : **les fumées et les gaz**.

La présence d'un métal en fusion libère dans l'air des molécules de métal qui, très rapidement, se combinent à l'oxygène de l'air et forment des oxydes métalliques complexes. Les particules d'oxydes métalliques forment un nuage de fumée facilement visible près du soudeur. La taille des particules générées est variable de quelques dixièmes de microns à des dizaines de microns. Les particules inférieures au micron peuvent se trouver en suspension (selon leur nature) et être inhalées. Les particules du nuage de fumée sont très fines et peuvent demeurer en suspension dans l'air jusqu'à huit heures avant de se déposer.
À ces oxydes métalliques se rajoutent des substances complexes produites par la possible combustion de solvant, d'huile ou d'autres matières recouvrant les pièces à souder.

Contrairement aux fumées, les gaz émis ne sont pas des particules solides ; tout comme l'air, ils ne sont pas visibles. Les gaz générés lors du soudage peuvent être plus légers ou plus lourds que l'air.
Les gaz de soudage et de coupage présentent tous un risque potentiel pour l'opérateur. Les fiches de sécurité sont généralement mises à disposition de l'utilisateur par le fournisseur et il convient de s'assurer que ces fiches soient lues et comprises.

- **Provenance**

Les fumées et les gaz produits lors du soudage et du coupage ont plusieurs origines.

Métal de base
Le métal de base est le métal sur lequel un travail de soudage ou de coupage est effectué. La fusion du métal de base produit des fumées (oxydes métalliques) – effet de vaporisation, ébullition.

Métal d'apport
Le métal d'apport est celui que l'on ajoute pour effectuer la soudure. La fusion du métal d'apport produit également des fumées (oxydes métalliques) – effet de vaporisation-ébullition, turbulences et instabilités d'arc.

Enrobage (flux) soudage par électrode enrobée
Le fondant produit des fumées et des gaz de protection. Le fondant génère une bonne partie des fumées présentes dans l'environnement du soudeur.

Gaz de protection
Les gaz de protection acheminés auprès de la soudure se répandent dans l'environnement du soudeur.

Solvants
Les soudeurs ont souvent besoin d'enlever l'huile et la graisse qui recouvrent une pièce avant de pouvoir la souder. Lorsque les solvants résiduels sont soumis aux rayons ultraviolets et à la chaleur de l'arc de soudage, ils peuvent se décomposer et produire des polluants dans le milieu de travail. Certains solvants contenant du chlore, tels le trichloroéthylène et le perchloroéthylène, produisent des gaz particulièrement irritants comme le phosgène ($COCl_2$), le chlore (Cl_2) et le chlorure d'hydrogène (HCl). Même si le travail de dégraissage s'effectue loin du lieu de soudage, il pourrait y avoir formation de gaz nocif si le système de ventilation entraîne les polluants vers le lieu de soudage.

Il convient de s'assurer que la pièce traitée est exempte de solvant avant le soudage (séchage).



Matières recouvrant le métal à souder
Le métal à souder peut être recouvert de peinture, d'anti-rouille, de produits de finition ou d'autres substances susceptibles de générer des gaz et des fumées lors de la combustion sous l'effet de la chaleur. Les produits de combustion peuvent être particulièrement toxiques s'il s'agit, par exemple, de peintures contenant du plomb ou des isocyanates. Les revêtements de polyuréthane peuvent produire du formaldéhyde et du diisocyanate de toluène. Les résines d'époxydes peuvent produire du cyanure d'hydrogène et du monoxyde de carbone. Le vinyle peut dégager du chlorure d'hydrogène et les peintures antirouilles peuvent dégager de la phosphine. Il convient que l'utilisateur s'informe des risques éventuels liés aux revêtements en utilisant les fiches de sécurité correspondantes.

- **Concentration des fumées selon le procédé**

Le graphique ci-dessous (voir figure 2.3), indique les taux de production de fumées générées par différentes combinaisons de procédés et de métaux soudés.
Les taux de production de fumées s'expriment en grammes par minute de temps de soudage. Le graphique illustre des plages de taux, car de nombreux facteurs influencent la production de fumées pour un même procédé. Les valeurs dépendent, entre autres, de l'intensité du courant, de la composition du métal d'apport, des gaz de protection, de la tension choisie etc.
Dans le coupage au laser, la puissance utilisée et la pression du gaz de coupe sont également des facteurs de très grande importance.
Le procédé qui génère le plus de fumées est le semi-automatique avec fil fourré (FCAW) en particulier le fil fourré rutile ou le fil fourré sans gaz de protection. Par contre, le MMA est le procédé qui génère le plus de fumées par rapport à la quantité de métal d'apport déposé. Si son taux de production de fumées par minute est plus bas, c'est dû au fait qu'il est beaucoup plus lent.
Il ne faut pas oublier qu'un procédé produisant moins de fumées n'est pas nécessairement moins toxique.

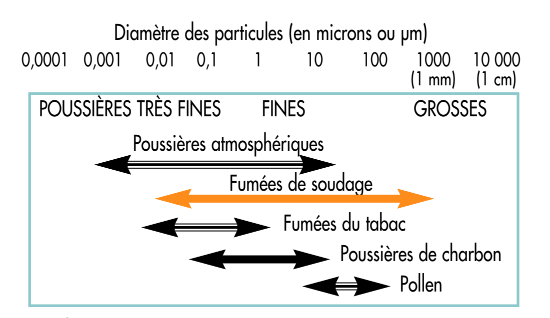
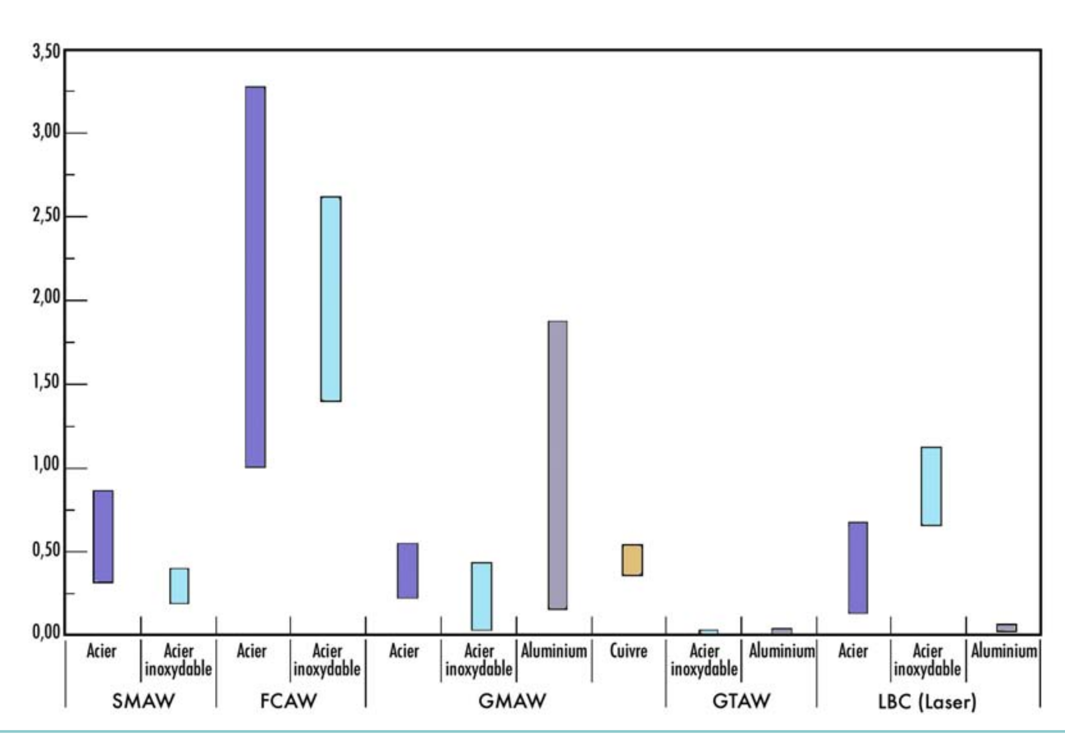


Figure 2.1 :
Grosseur type des particules en suspension dans l'air



Figure 2.2 :
Sources des fumées et des gaz lors du soudage

Figure 2.3 :
Taux de production de fumées de divers procédés à différents métaux



B. Les mécanismes de défense du poumon

Les fumées et les émissions gazeuses ont comme première cible les poumons. Le rôle du poumon est de distribuer l'oxygène dans le sang et d'évacuer le bioxyde de carbone qui s'y est accumulé.

L'air pénètre par la trachée et se dirige dans une série de canalisations, les bronches, qui se ramifient en bronchioles (petites bronches). À l'extrémité des bronchioles, on trouve de petits sacs à paroi très mince qu'on appelle alvéoles. C'est à travers cette membrane très mince que l'échange gazeux se produit (échange de l'oxygène et du bioxyde de carbone).

Le système respiratoire possède des mécanismes de défense qui aident à éliminer certaines substances indésirables. Avec le temps, si la concentration et la toxicité des produits sont élevées, les mécanismes de défense peuvent s'user et devenir beaucoup moins efficaces.

Seules les particules en suspension dans l'air et possédant une taille inférieur à 0,1 micromètre peuvent être transmises par les alvéoles.

- **Mucus**
  Du nez jusqu'aux bronches, les voies respiratoires sont tapissées de cellules ayant pour fonction de sécréter une substance collante (mucus) qui aide à retenir les poussières.

- **Action des cils**
  Des cils microscopiques situés dans le pharynx, dans les bronches et dans les bronchioles battent vers le haut de façon à faire remonter les parties agglutinées (poussières et mucus). Ce mécanisme permet de débarrasser les voies respiratoires des plus grosses particules par la toux et les crachats.
  Lorsque les particules sont relativement petites, comme c'est le cas pour les gaz et les fumées, elles peuvent se rendre jusqu'au niveau des alvéoles sans être arrêtées par le mécanisme de défense des cils et du mucus. Ces particules peuvent se déposer sur place et provoquer des effets nuisibles.

- **La toux**
  Les muscles sollicités par la toux provoquent le rétrécissement du diamètre des bronches et des bronchioles, ce qui a pour effet de chasser l'air violemment et d'entraîner l'agent agresseur. C'est ce qui se produit lorsqu'on s'étouffe en mangeant.

- **Autres mécanismes de défense**
  Dans l'alvéole, des phagocytes (cellules spécialisées) peuvent avaler les particules et en débarrasser l'alvéole ; c'est ce qu'on appelle la phagocytose. Quand les particules sont insolubles ou toxiques pour les phagocytes, l'organisme tente d'isoler l'agresseur en produisant du tissu cicatriciel qui entoure la particule. Cette fibrose peut nuire aux échanges gazeux et réduire la capacité du poumon à oxygéner l'organisme.

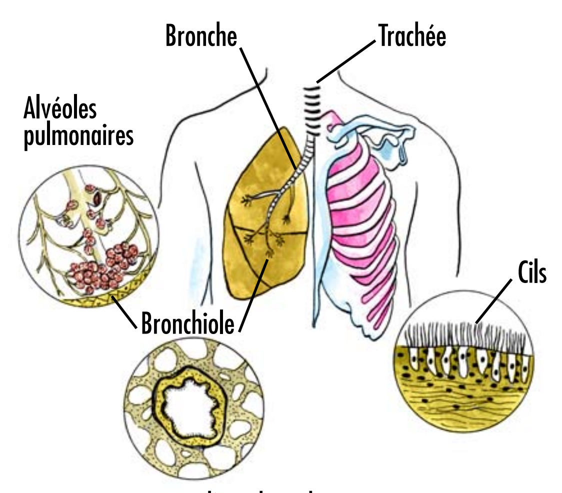


Figure 2.4 :
Description du poumon

C. Les effets des fumées et des gaz sur la santé

Les fumées et les gaz peuvent avoir des effets nocifs sur les voies respiratoires du soudeur à divers niveaux, selon leur concentration et leur toxicité.

On regroupe les polluants en six catégories selon les effets qu'ils ont sur la santé des travailleurs. Le tableau 2.1 présente ces catégories et des exemples d'agresseurs.

Tableau 2.1 : Les effets des fumées et des gaz sur la santé

Catégories de polluants	Description des effets	Exemples d'agresseurs (fumée ou gaz)
Asphyxiants	Asphyxiants simples : se substituent à l'oxygène de l'air et nuisent à la respiration. Asphyxiants chimiques : par une réaction chimique, réduisent la capacité de l'organisme à utiliser l'oxygène qui est disponible.	Acétylène, argon, ... Monoxyde de carbone (CO).
Allergisants	Déclenchent des réactions de type allergique au contact des parois des bronches et des bronchioles (par exemple, le rétrécissement des bronchioles dans le cas de l'asthme).	Chrome et zinc.
Fibrosants	Se rendent jusqu'aux alvéoles et provoquent une réaction de défense qui produira un épaississement de la paroi et une réduction des échanges gazeux.	Amiante, béryllium, fer et silice.
Irritants	Créent une inflammation au niveau des yeux, des muqueuses nasales et des voies respiratoires. Certains irritants pourront, après des expositions répétées, avoir des effets fibrosants.	Ozone, oxyde d'azote, phosgène, phosphine, cadmium, chrome, cuivre, manganèse, magnésium, molybdène, zinc et tungstène.
Cancérigènes	Sont susceptibles de causer des cancers.	Chrome, cadmium et nickel.
Toxiques	Utilisent le poumon comme porte d'entrée dans l'organisme, passent dans le sang et nuisent au fonctionnement d'autres organes.	Plomb et manganèse.

La section précédente traitait en détail des effets des fumées et des gaz sur la santé dans le but de sensibiliser les soudeurs et les travailleurs aux maladies qui les guettent si le milieu de travail ne possède pas des méthodes de prévention adéquates. Avant d'exposer ces mesures de prévention, il faut faire le lien avec les valeurs d'exposition permises selon la réglementation applicable.
Les polluants présents dans le milieu de travail sont régis par la directive 91/322/CEE du 29 mai 1991 qui prescrit des valeurs limites d'exposition. En droit français, ces valeurs sont données dans la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail complétée et modifiée en dernier lieu par la circulaire DRT numéro 96-8 du 21 août 1996 (voir BO ministère du travail n°82/38) et par la directive 2000/39/CE transposée dans l'arrêté du 30 juin 2004 établissant la liste des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives pour certaines substances.

Voici un tableau qui présente les principales valeurs limites d'exposition pour les substances les plus fréquemment échantillonnées en milieu de travail pour des activités de soudage et de coupage (extrait de l'arrêté du 30 juin 2004) :

Einecs (1)	CAS (2)	Dénomination de l'agent	Valeurs limites d'exposition (3)	
			mg/m³ (4)	ppm (5)
2 001 933	54-11-5	Nicotine (6)	0,5	-
2 005 791	64-18-6	Acide formique	9	5
2 005 807	64-19-7	Acide acétique	25	10
2 006 596	67-56-1	Méthanol	260	200
2 008 352	75-05-8	Acétonitrile	70	40
2 018 659	88-89-1	Acide picrique (6)	0,1	-
2 020 495	91-20-3	Naphtalène	50	10
2 027 160	98-95-3	Nitrobenzène	5	1
2 035 852	108-46-3	Résorcinol (6)	45	10
2 037 163	109-89-7	Diéthylamine	30	10
2 038 099	110-86-1	Pyridine (6)	15	5
2 046 969	124-38-9	Dioxyde de carbone	9 000	5 000
2 056 343	144-62-7	Acide oxalique (6)	1	-
2 069 923	420-04-2	Cyanamide (6)	2	-
2 151 373	1305-62-0	Dihydroxyde de calcium (6)	5	-
2 152 361	1314-56-3	Pentaoxyde de diphosphore (6)	1	-
2 152 424	1314-80-3	Pentasulfure de diphosphore (6)	1	-
2 152 932	1319-77-3	Crésols (tous isomères) (6)	22	5
2 311 161	7440-06-4	Platine (métallique) (6)	1	-
2 314 843	7580-67-8	Hydrure de lithium (6)	0,025	-
2 317 781	7726-95-6	Brome (6)	0,7	0,1
2 330 603	10026-13-8	Pentachlorure de phosphore (6)	1	-
2 332 710	10102-43-9	Monoxyde d'azote	30	25
	8003-34-7	Pyrèthre	5	-
		Baryum (composés solubles en Ba) (6)	0,5	-
		Argent (composés solubles en Ag) (6)	0,01	-
		Étain (composés inorganiques en Sn) (6)	2	-

(1) EINECS : European Inventory of Existing Chemical Substances
(2) CAS : Chemical Abstract Service Number.
(3) Mesurées ou calculées en fonction d'une période référence de 8 heures.
(4) mg/m³ = milligrammes par mètre cube d'air à 20 °C et 101,3 kPa (avec une pression de mercure de 760 mm).
(5) ppm = parts par million et par volume d'air (ml/m³).
(6) Les données scientifiques existantes concernant les effets sur la santé semblent être particulièrement limitées.

Important

L'article R 232 –5-1 du code du travail considère comme poussière toute particule solide dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à 100 micromètres ou dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 m/s. Les poussières ainsi définies sont appelées « poussières totales ». Toute poussière susceptible d'atteindre les alvéoles pulmonaires est considérée comme « poussière alvéolaire ».
L'article R 232-5-5 du code du travail limite les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalée par personne, évaluées sur une période de huit heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 milligrammes par mètre cube d'air.



La réglementation sur la santé et la sécurité du travail a pour objet l'élimination à la source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Pour atteindre cet objectif et afin de diminuer l'exposition des travailleurs aux polluants, trois grands principes pourront être appliqués, dans l'ordre suivant :

- la diminution du taux de production de fumées et de polluants,
- le captage à la source des fumées et des polluants,
- la dilution des polluants et la protection respiratoire individuelle.

A. Méthodes du taux de production de fumées et de polluants

- **Préparation des pièces à souder**
  Plusieurs polluants proviennent des matières recouvrant le métal à souder ou des solvants utilisés pour le dégraissage.
  Ainsi, il faut s'assurer de prendre les mesures suivantes avant de souder ou de couper une pièce :

  - enlever la peinture, l'huile ou tout autre recouvrement de surface,
  - éviter d'utiliser des solvants chlorés. Si on doit absolument en utiliser, prévoir le captage à la source des émanations au poste de dégraissage et assurer une distance minimale entre le lieu de soudage et le lieu de dégraissage (à titre d'indication : 15 m si aucun mouvement d'air parasite est susceptible de déplacer les émanations),
  - s'assurer d'un temps de séchage suffisant des solvants pour éviter qu'il y ait des résidus.

- **Modifications du procédé**
  Pour réduire la production de fumées et de polluants, on pourrait envisager d'apporter certaines modifications au procédé. Il s'agit d'évaluer celles qui ne diminueraient pas la qualité de soudure. Voici quelques pistes à explorer :

  - Peut-on modifier le procédé de soudage ?
    Dans l'industrie, le procédé à fil fourré sans gaz (FCAW) est souvent remplacé par les procédés MIG/MAG ou fil fourré avec gaz qui produisent moins de fumées. Le soudage MAG pulsé en fil plein permet de réduire considérablement le taux d'émission par rapport au soudage dans le domaine globulaire.
  - Dans le cas du coupage plasma peut-on couper avec vortex eau ?
    L'utilisation du vortex eau amène une diminution du niveau sonore ainsi qu'une diminution des émissions de NOx.
  - Peut-on modifier la composition de l'enrobage de l'électrode ou du flux du fil fourré ?
    Une composition différente de l'enrobage de l'électrode peut réduire les émanations de fumées tout en conservant la même qualité de la soudure.
  - Peut-on réduire l'intensité du courant ?
    En général, plus l'intensité du courant est élevée, plus il y a émission de fumées.
  - Peut-on modifier le diamètre des électrodes ?
    Moins l'électrode est grosse, moins le courant requis est élevé. Il y a donc moins de production de fumées.
  - Peut-on réduire la longueur de l'arc ?
    Moins l'arc est long, moins il y a production de fumées.
  - Peut-on changer le gaz de protection ?
    Le genre de gaz de protection utilisé peut contribuer à réduire le volume des émanations. Par exemple : le volume des émanations peut être réduit de plus de 80 % lorsqu'on ajoute de l'argon au CO_2 au lieu de l'utiliser à l'état pur. Le choix d'un gaz à forte concentration d'argon permet d'atteindre plus rapidement le domaine de pulvérisation axiale, domaine présentant un faible taux d'émission. Les émissions de monoxyde de carbone sont directement proportionnelles à la teneur de CO_2 dans le gaz de protection.

Dans le cas du soudage TIG des émissions gazeuses, telles que l'ozone, peuvent être considérablement réduites en utilisant des mélanges contenant l'hydrogène ou l'hélium.



B. Captage à la source des fumées et des polluants

- **Aspiration locale (ou à la source)**
  La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées et les gaz avant qu'ils n'atteignent la zone respiratoire du travailleur.
  L'aspiration peut s'effectuer par le côté, par le bas ou par le haut. Dans le cas du coupage plasma, ces trois façons de captage peuvent être utilisées en même temps.

Composantes d'un système de captage

1. **Le capteur** : dispositif permettant de capter l'air contaminé.
2. **Les conduits d'évacuation** : tuyauterie permettant d'acheminer l'air contaminé à l'extérieur du lieu de travail.
3. **L'unité de filtration** : dispositif permettant de filtrer l'air avant de le rejeter et de le refaire circuler.
4. **L'unité d'aspiration** : évacuateur permettant l'aspiration de l'air contaminé à travers le réseau de tuyauterie.

Réglementation

- l'article R 232-5 du code du travail (R 232-5-1 à R 232-5-14 : décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail) ;
- la circulaire du 9 mai 1985 relative au commentaire technique des décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 ;
- l'arrêté du 8 octobre 1987 relatif au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement des locaux de travail ;
- l'arrêté du 9 octobre 1987 relatif au contrôle de l'aération et de l'assainissement des locaux de travail pouvant être prescrit par l'inspecteur du travail.

Principes d'aspiration locale

Il existe trois principes d'aspiration locale : le haut volume, basse pression (HVBP), le moyen volume, moyenne pression (MVMP) et le bas volume, haute pression (BVHP). On distingue ces trois principes par les pressions requises de l'unité d'aspiration ainsi que par les débits d'air fournis par le système.

Le chapitre 8 traite plus en détail de ces concepts ainsi que des avantages, des contraintes et des applications de chacun d'eux.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le choix et la configuration du système d'aspiration :

- la forme, la dimension et le poids des pièces,
- la nature du métal soudé,
- la toxicité des fumées et des gaz émis,
- le gabarit de positionnement des pièces et table de travail,
- le type de soudure et position de soudage requis,
- le procédé utilisé,
- le nombre de postes de travail,
- l'environnement de travail et espace disponible,
- etc.

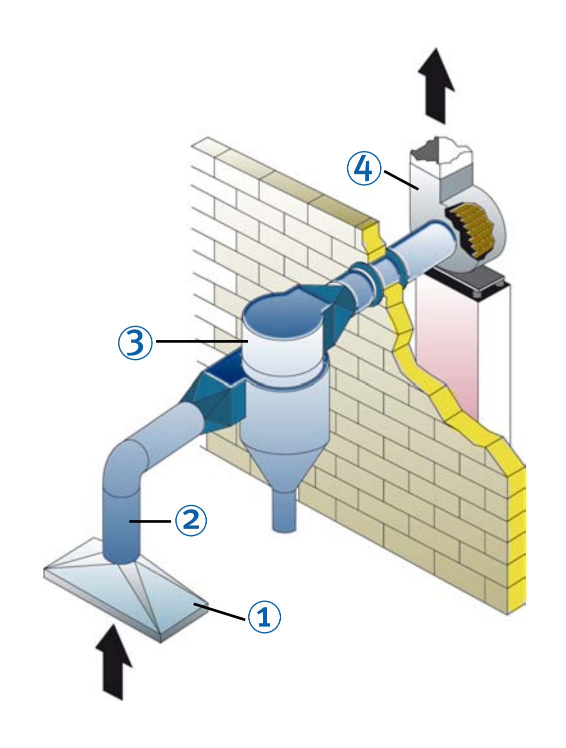


Figure 2.5 :
Composants d'un système de captage

Figures 2.6 :
Exemples de systèmes de captation à la source

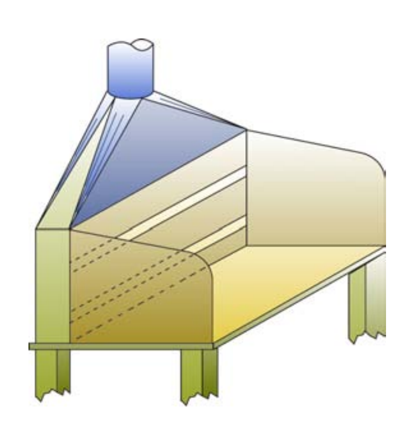


Figure 2.6 A :
Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur

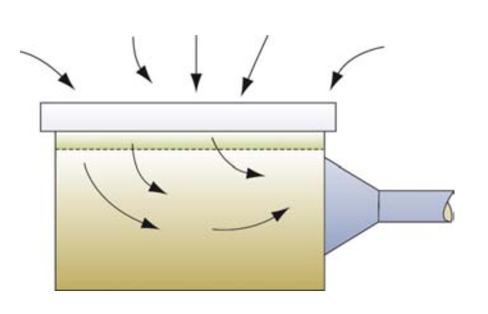


Figure 2.6 B :
Table avec aspiration verticale descendante

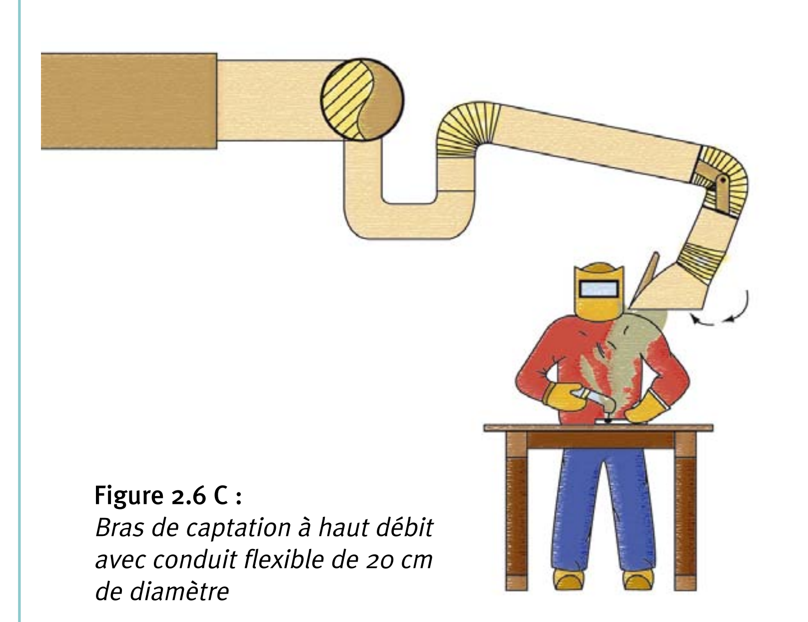


Figure 2.6 C :
Bras de captation à haut débit avec conduit flexible de 20 cm de diamètre

Figure 2.6 D :
Bras de captation à faible débit avec conduit rigide de 5 cm de diamètre



Figure 2.6 E :
Pistolet de soudage à captation intégrée

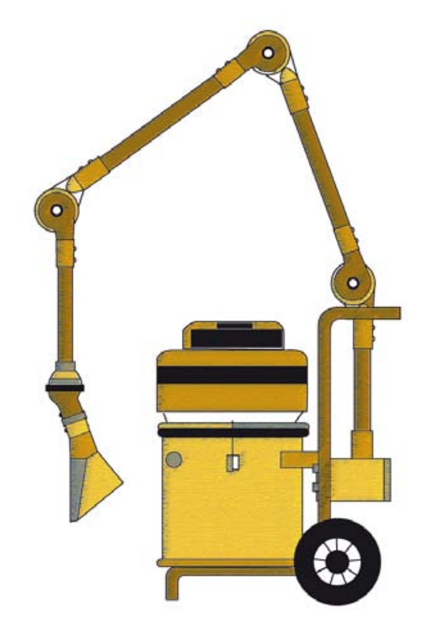


Figure 2.6 F :
Unité mobile de filtration

C. Dilution des polluants

Un système de ventilation générale sert à remplacer l'air vicié ou contaminé par de l'air frais provenant de l'extérieur. On peut également refaire circuler une partie de cet air vicié dans certaines conditions.
La ventilation générale n'est pas une façon de capter les polluants. En principe, elle ne devrait servir qu'à diluer le faible pourcentage de polluants qui n'a pas été aspiré par le système de captage à la source et à renouveler l'oxygène. Dans les situations où le captage à la source n'est pas possible, on doit utiliser la ventilation générale pour diluer le plus possible les polluants. Dans ces cas, il faut avoir recours à la protection respiratoire individuelle.

- **Techniques de ventilation générale**
  Il existe deux techniques de ventilation générale :

  - **Ventilation naturelle**
    La ventilation naturelle permet une circulation de l'air par l'entremise de fenêtres ouvertes ou de toute autre ouverture conçue à cet effet. Toutefois, cette technique ne permet pas de ventiler correctement les locaux à pollution spécifique ; c'est pourquoi on doit se tourner vers la ventilation mécanique.
  - **Ventilation mécanique**
    La ventilation mécanique implique l'utilisation de ventilateurs fixés aux murs ou au toit afin d'évacuer l'air vicié. On installe les ventilateurs d'extraction dans la zone la plus polluée. L'entrée d'air devrait être localisée dans une zone non polluée de façon à permettre un écoulement d'air de la section saine vers la section d'où l'on a extrait l'air pollué (limitation des courants d'air).
  - **Mouvements de l'air**
    Les figures 2.7 et 2.8 donnent quelques indications sur la qualité du mouvement de l'air selon différentes techniques de ventilation générale mécanisée.

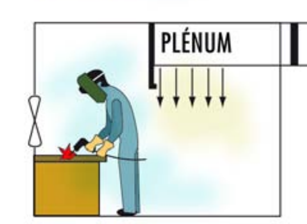
D. Protection respiratoire

- **Application**
  Lorsque la quantité de fumées et de gaz de soudage dépasse la moitié de la valeur moyenne d'exposition, il est généralement recommandé de mettre en place des moyens pour réduire ces émanations à la source. Parfois la situation exige une protection respiratoire, car aucune solution de captage à la source ne peut être utilisée. La réglementation admet cette possibilité dans le cas où la technologie existante ne permet pas à l'employeur de respecter les valeurs moyennes d'exposition et dans le cas des travaux d'entretien ou de réparation hors atelier ou encore, en attendant de mettre en œuvre les mesures requises pour respecter ces valeurs.
  Dans les ateliers où une forte concentration des polluants est possible, une analyse des risques, basée sur des mesures, est à conseiller afin de définir les moyens adéquats de protection des opérateurs.

Figure 2.7 :
Ventilation appliquée à une pièce ou un local



a) Entrée d'air acceptable excellente extraction



b) Excellente entrée d'air et excellente extraction

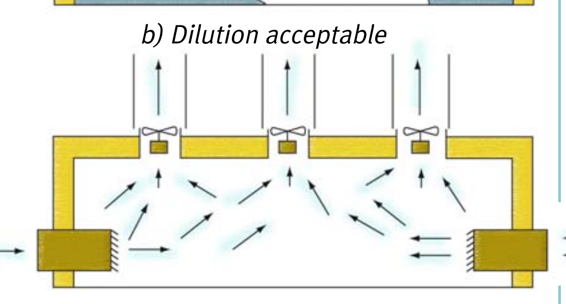


c) Excellente entrée d'air et excellente extraction

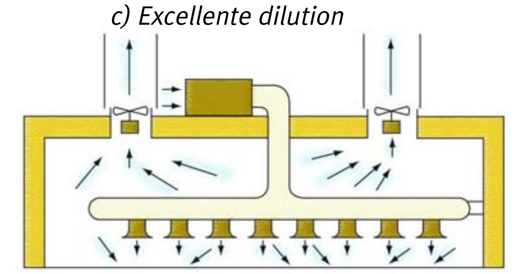
Figure 2.8 :
Ventilation appliquée à un atelier ou à un bâtiment

a) Mauvaise dilution

b) Dilution acceptable



c) Excellente dilution



Normes

Les normes suivantes peuvent donner des indications sur ces types d'appareil :

- **NF EN 136** « Appareils de protection respiratoire – Masque complet – Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 137** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire autonomes à circuit ouvert, à air comprimé– Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 149** « Appareils de protection respiratoire – Demi-masque filtrants contre les particules – Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 1835** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire à adduction d'air comprimé de construction légère, avec masque ou cagoule – Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 12419** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire isolants à adduction d'air comprimé de construction légère, avec masque complet, demi-masque ou quart de masque – Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 12941** « Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrant à ventilation assistée avec casque ou cagoule – Exigences, essais, marquage ».
- **NF EN 12942** « Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrants à ventilation assistée avec masque complet, demi-masque ou quart de masque – Exigences, essais, marquage ».

Masques filtrants

L'étanchéité des masques filtrants doit être vérifiée avant leur utilisation. Lorsqu'une personne porte un masque bien ajusté, au moment d'inhaler, l'air inspiré traverse le filtre et le matériel filtrant retient le polluant. S'il y a des infiltrations par les côtés, le dessus ou le dessous du masque, à travers une soupape endommagée ou des fissures, l'utilisateur respirera de l'air contaminé. Le masque doit donc être en bon état et former un lien étanche avec le visage pour s'assurer que l'air respiré passe par le filtre. Le port de la barbe réduit ainsi nettement l'efficacité du masque.

Masques jetables

Les masques jetables peuvent convenir pour les fumées de soudage, les particules et les poussières de meulage, mais ils n'offrent généralement pas de protection contre les gaz.

Certains offrent une protection contre l'ozone à l'aide d'une mince couche de charbon activé ; la concentration en ozone doit alors être inférieure à la valeur moyenne d'exposition. Le masque jetable se porte facilement sous un masque de soudeur et certains modèles sont munis d'une soupape d'expiration qui facilite la respiration et améliore le confort.

Masques à cartouches

Ces masques sont munis d'un pré-filtre, qui protège contre les fumées et les poussières, et d'un filtre pour certains gaz. L'utilisation de ce type de masque est à proscrire lorsque le seuil olfactif est supérieur à la valeur moyenne d'exposition. Certains modèles surbaissés facilitent le port de lunettes de sécurité. Ils sont très peu utilisés.

Masques à ventilation assistée

Ces masques sont constitués d'un casque ou d'une cagoule où est acheminée une pression positive d'air. L'air est soutiré dans l'environnement du travailleur et transite d'abord par un bloc aspirant. Ces masques filtrent gaz et fumées selon la filtration choisie. Les modèles de casques et de cagoules les plus utilisés sont munis d'un écran à cristaux liquides au lieu d'un écran de protection ordinaire pour soudeur.

Restrictions

Certaines restrictions s'appliquent cependant : il ne faut pas utiliser les masques filtrants dans un environnement pauvre en oxygène (moins de 19,5 % d'oxygène), lorsque les concentrations ou la toxicité présentent un danger immédiat pour la vie ou bien lorsque les concentrations de fumées ou de gaz dépassent 10 fois la valeur moyenne d'exposition.

Masques à adduction d'air

Ces masques diffèrent principalement des précédents du fait qu'ils sont directement alimentés en air respirable. L'air arrive au masque par l'entremise d'un tuyau. L'air provient habituellement d'un compresseur ou de réservoirs (appareils autonomes). Les masques à adduction d'air sont utilisés lorsqu'il y a manque d'oxygène, lorsque la toxicité du produit est élevée ou encore lorsque la concentration de polluants excède 10 fois la valeur moyenne d'exposition.

Le compresseur utilisé doit posséder un ensemble de filtration spécifique afin d'assurer une qualité d'air adéquate.



Chapitre 3

Les risques d'incendie et d'explosion



1. Risques d'incendie et d'explosion

En soudage et en coupage, les risques d'incendie et d'explosion ont essentiellement deux origines : les sources de chaleur, combinées à l'utilisation de matières combustibles ou inflammables, ou bien des incidents impliquant des contenants de gaz sous pression.

A. Triangle de feu

Les incendies sont causés par la combinaison simultanée d'une source de chaleur, de matières combustibles et d'oxygène, comme l'illustre le triangle de feu. Certains incendies peuvent couver plusieurs heures avant d'être détectés.

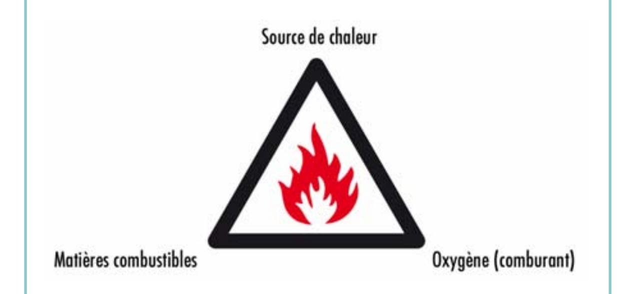


Figure 3.1 :
Triangle de feu

B. Sources de chaleur

Voici les principales sources de chaleur présentes dans les activités de soudage et de coupage :

- la flamme d'un chalumeau : dans le procédé oxygaz, la flamme du chalumeau peut facilement atteindre plusieurs milliers de degrés, ce qui en fait une source de température élevée,

- la flamme parasite (procédé oxygaz) : dans certaines circonstances, il peut y avoir une flamme parasite, c'est-à-dire une flamme produite à l'extrémité d'un tuyau ; cette flamme n'est pas visible à travers les lunettes de protection d'un oxycoupeur,

Comment se produit la flamme parasite ?

Pour brûler, la flamme d'un chalumeau a besoin de l'oxygène de l'air ambiant. Lorsque le soudeur doit travailler sur un tuyau, la combustion des gaz est incomplète.

Des gaz tels que l'hydrogène et le monoxyde de carbone sont alors susceptibles de s'y accumuler.

Si ces gaz inflammables s'échappent et se mélangent à l'oxygène à l'autre bout du tuyau, la combustion reprend et produit une flamme qui peut déclencher un incendie.



Figure 3.2 :
Flamme parasite produite à l'extrémité d'un tuyau ouvert

- les projections de métal en fusion et le laitier : même s'ils ne sont plus incandescents, les projections de métal et le laitier peuvent provoquer un incendie, car leur température (plus de 200° Celsius) est suffisante pour enflammer par exemple le bois, le papier ou les vêtements. La hauteur du plan de travail et la pression des gaz influencent la projection de métal en fusion. Plus le soudage ou le coupage sont effectués en hauteur, plus grande sera la distance horizontale parcourue par les particules chaudes ou les étincelles. Ce problème est particulièrement aigu en coupage thermique,

- la température des pièces soudées : les pièces fraîchement soudées peuvent atteindre des températures assez élevées pour enflammer des matières combustibles situées à proximité,

- l'oxygène sous pression en présence de graisse ou d'huile (procédé oxygaz) : si l'oxygène sous pression entre en contact avec de la graisse ou de l'huile (joints de tuyau ou de détendeur), il tend à provoquer une réaction violente pouvant élever la température à un degré suffisant pour enflammer un combustible placé à proximité,

- les mégots d'électrodes chauds jetés au sol : la température des électrodes peut être suffisante pour déclencher un incendie en présence de matières combustibles,

- l'utilisation d'électricité : il peut y avoir échauffement du câblage lorsqu'il y a surcharge de courant ou présence de câbles dénudés ou de mauvaises connexions,

- le retour de flamme et de gaz dans un chalumeau (procédé oxygaz) : le retour d'une flamme (cas d'un chalumeau sans anti-retour par flamme intégré) peut causer l'explosion des tuyaux ou, même, de la bouteille de gaz comprimé. Généralement, les tuyaux éclatent alors et les gaz se répandent dans l'atmosphère, ce qui provoque un incendie et parfois des blessures graves. La situation est encore plus grave si les détendeurs explosent. Une section est d'ailleurs consacrée à cette problématique un peu plus loin dans le présent chapitre.

ATTENTION

L'acétylène est un gaz comprimé qu'on doit dissoudre dans l'acétone pour le stabiliser. Près de 2,5 kg d'acétone imbibent une matière poreuse placée à l'intérieur d'une bouteille à paroi épaisse.

Il faut éviter d'entrechoquer les bouteilles, car la garniture poreuse pourrait être endommagée et provoquer la décomposition soudaine du produit (explosion).

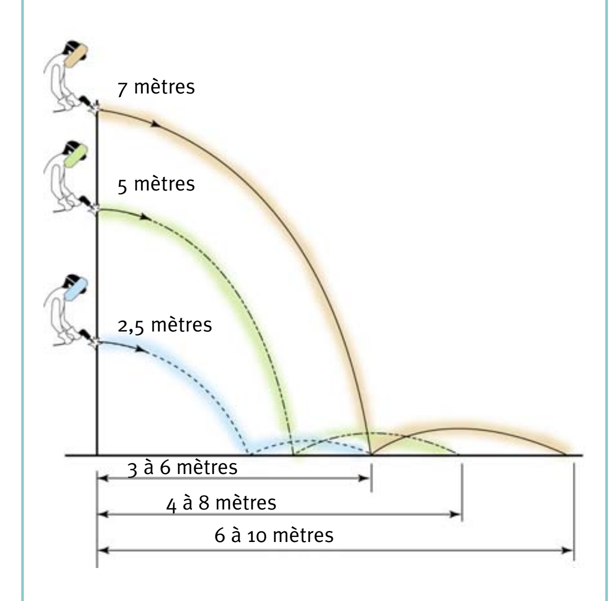


Figure 3.3 A :
Distances horizontales selon la hauteur de projection

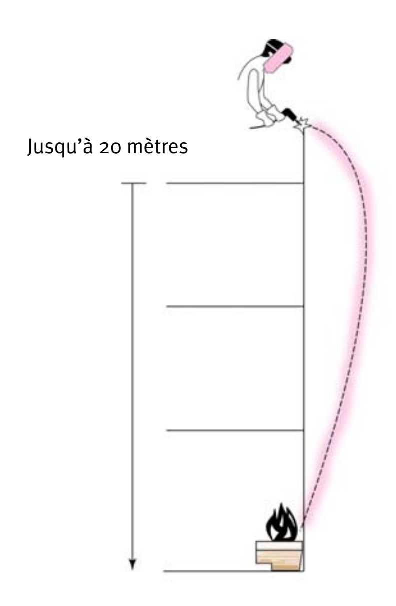


Figure 3.3 B :
Hauteur de projection présentant un risque

Figure 3.3 :
Distances parcourues par les étincelles et les particules métalliques chaudes lors du soudage et du coupage

C. Matières combustibles

Les matières combustibles peuvent être présentes dans les milieux de travail sous plusieurs formes :

- **Matières combustibles solides**
  Les planchers, les murs et cloisons, les plafonds, les contenants de produits, les boîtes de carton, les palettes de bois, le papier, les produits d'emballage, les vêtements, etc. sont des exemples de matières combustibles pouvant s'enflammer dans certaines circonstances.

- **Vapeurs et gaz combustibles ou inflammables**
  Les espaces confinés mal ventilés, par exemple un réservoir de produits dangereux mal nettoyé, augmentent grandement les risques d'incendie en raison de la concentration élevée de vapeurs inflammables qui peuvent s'y accumuler. Pour les procédés oxygaz, il pourrait se produire des fuites de gaz autour du régulateur, des tuyaux et des raccords. Ces fuites peuvent entraîner une forte concentration de gaz et provoquer un incendie.
  Toujours vérifier l'étanchéité des circuits gaz avant de commencer un travail.

- **Poussières combustibles**
  Une matière combustible solide s'enflamme beaucoup plus facilement lorsqu'elle est sous forme de copeaux, de poussières ou de poudre. Plus la poussière est fine, plus le danger croît. Le meulage, en particulier, produit un grand nombre de fines particules métalliques qui peuvent être dangereuses; par exemple, la poussière d'aluminium réagit particulièrement fortement et s'enflamme rapidement au contact d'une source de chaleur. Le procédé de coupage au laser génère également une grande quantité de fines poussières métalliques.

  La directive ATEX précise les zones à risques d'explosion. L'utilisateur doit s'assurer que des travaux présentant un danger d'inflammation ne soient pas effectués dans une zone à risque.

D. Contenants sous pression

Les explosions résultent parfois de la mauvaise manipulation ou de l'utilisation inadéquate des gaz sous pression. Par exemple, si la bouteille tombe par terre ou est heurtée accidentellement, le bris d'un robinet peut libérer la pression assez violemment pour soulever la bouteille et la propulser contre un travailleur ou provoquer des dégâts considérables. Les bouteilles de gaz comprimés doivent être équipés de chapeaux protégeant le robinet en cas de chute ou de choc.

Acétylène
La manipulation de l'acétylène peut être dangereuse. En particulier, il peut se produire une décomposition explosive lorsque l'acétylène circule dans une tuyauterie à une pression supérieure à 150 kPa ou 1,5 bar.

Une installation d'acétylène doit être équipée d'anti-retours pare flamme, afin d'éviter la propagation de la flamme à l'intérieur de la bouteille.

Les débits maxima admissibles doivent être respectés lors du soutirage, afin de ne pas entraîner une quantité trop importante de solvant. Dans tous les cas les bonnes pratiques d'utilisations doivent être respectées et le personnel formé à l'utilisation du combustible (et de l'oxygène). Voir également les recommandations faites par le Symop à la fin de ce chapitre.

L'acétylène forme également des composés explosifs en présence du cuivre, de l'argent et du mercure. On doit donc utiliser des tuyaux, des raccords et des manomètres en acier, inoxydable ou non. Tout alliage de cuivre utilisé doit contenir au moins 70 % de cuivre. La fiche de données de sécurité fournie avec la bouteille d'acétylène est à lire avec soins. L'acétylène étant un combustible, les installations doivent être vérifiées régulièrement au niveau de leur étanchéité.

E. Retour de gaz et retour de flamme

Le tableau 3.1, montre certaines défaillances propres au procédé oxygaz. On y présente, entre autres, la progression d'une situation problématique : simple claquement, claquements répétés, entrée de flamme soutenue puis, éventuellement, retour de flamme explosive.

Le claquement est dangereux en raison du possible retour de flamme qui peut se fixer au niveau de l'injecteur. De plus un dépôt de suie de carbone peut se produire dans le mélangeur du chalumeau, freinant l'écoulement gazeux et augmenter la sensibilité au retour de flamme.
C'est pourquoi il est important d'entretenir avec soin son équipement.

Tout matériel flamme et/ou de détente doit être maintenu, voir remplacé périodiquement (voir les recommandations faîtes par le SYMOP à la fin de ce chapitre). La maintenance des équipements pouvant être sous pression doit être effectuée par des personnes habilitées.

Certains matériels, comme les flexibles, vieillissent. Leur remplacement est préconisé à des périodes régulières.



Avant de rallumer le chalumeau, suite à une entrée de flamme soutenue, le matériel devrait être examiné, la pression réglée et les pertes de charge absentes (pertes de pression). L'anti-retour pare-flamme doit être vérifié au niveau du bon fonctionnement.

Dans le cas des claquements et d'une entrée de flamme soutenue, on a le temps de réagir pour arrêter le phénomène et prendre les dispositions qui s'imposent pour prévenir d'éventuelles défaillances. Si la situation n'est pas corrigée, l'équipement peut se détériorer et cela peut conduire à des situations plus graves, comme le retour d'une flamme explosive.

L'utilisation d'une bouteille de gaz presque vide peut représenter un risque supplémentaire. Si on ne remplace pas la bouteille avant qu'elle soit complètement vide, il peut se produire, au moment de son utilisation, un retour de gaz combustible dans le tuyau d'oxygène. Le gaz combustible se mélange au reste de l'oxygène. En raison de la baisse de pression, la flamme du chalumeau peut entrer jusqu'au tuyau où les deux gaz se trouvent mélangés. La chaleur produite par la flamme à l'intérieur du tuyau risque de faire éclater celui-ci. La flamme pourrait même se rendre jusqu'à la bouteille ; il s'agit alors d'un retour de flamme explosive. Il est impératif d'utiliser sur le circuit oxygène et combustible des anti-retours pare-flamme.
À noter que le retour d'une flamme explosive peut survenir également sur un équipement en très bon état lorsque la procédure de purge avant allumage n'est pas suivie.

Tableau 3.1 : Cause d'un retour de flamme explosive

Situation	Description du phénomène	Causes possibles
Claquement	Entrée temporaire d'une flamme à l'intérieur du chalumeau accompagnée d'un bruit sec. La flamme peut s'éteindre complètement ou se rétablir par contact avec la pièce chauffée.	• Des projections de métal obstruent les orifices de la buse en raison du métal en fusion projeté pendant le travail. • La pression des gaz est mal réglée. • À la longue, les accumulations de claquements tendent à réduire le débit de gaz et les claquements se produisent plus souvent.
Entrée de flamme soutenue	Flamme qui se rend jusqu'au niveau du mélangeur et entretient une combustion à l'intérieur de ce dernier. Un sifflement ou un grincement se fait entendre et des étincelles peuvent jaillir des orifices de la buse. En quelques secondes, le matériel devient extrêmement chaud et il faut fermer rapidement le débit des gaz pour ne pas endommager gravement le chalumeau.	• L'accumulation de suie à l'intérieur du mélangeur par suite des claquements répétés augmente les risques de retour de flamme. • Des pressions d'utilisation trop basses (mauvais réglage) augmentent les risques de retours de gaz et finalement les risques de retours de flamme. • Une grande perte de charge attribuable à la longueur excessive ou au diamètre insuffisant des tuyaux et aux courbes exagérées si les tuyaux sont entremêlés.
Retour d'une flamme explosive	Remontée de la flamme jusqu'aux tuyaux et même peut-être jusqu'au détendeur et à la bouteille de gaz. La flamme se propage si rapidement que personne n'a le temps de réagir et de fermer l'arrivée du gaz.	• Des gaz (oxygène et combustible) sont mélangés dans un des deux tuyaux qui raccordent le chalumeau aux détendeurs. Le rallumage sans purge préalable de chacun des tuyaux déclenche ce phénomène, mais la purge élimine les gaz mélangés à l'intérieur des tuyaux.

Cette section présente des mesures de prévention qui aideront à réduire les risques d'incendie et d'explosion. Ces mesures de prévention sont principalement des bonnes méthodes de travail, des précautions particulières et des mesures de contrôle spécifiques qu'il est important de connaître pour diminuer les risques.

Ces méthodes de prévention sont classées sous les catégories suivantes :

- contrôle des sources de chaleur,
- contrôle des matières combustibles,
- prévention des retours de flamme et de gaz (procédés oxygaz),
- mesures de sécurité concernant les contenants sous pression.

A. Contrôle des sources de chaleur

Les mesures de prévention qui concernent le contrôle des sources de chaleur passent souvent par la surveillance et l'amélioration des lieux de soudage et de coupage. Voici donc quelques précautions minimales :

- **Aménagement des lieux de soudage-coupage :**
  - s'assurer que les extrémités des tuyaux sur lesquels on soude avec un chalumeau oxygaz sont bien dégagées ou éloignées des matières combustibles pour éviter les incendies en cas de production de flammes parasites,
  - inspecter les lieux de soudage afin de détecter tout début d'incendie qui aurait pu couver par suite des travaux. Il est recommandé de poursuivre cette surveillance jusqu'à 30 minutes après la fin des travaux de soudage.

- **Méthodes de travail :**
  - ne jamais orienter le chalumeau d'un procédé oxygaz vers les bouteilles de gaz ou toute autre matière combustible,
  - marquer les pièces chaudes de façon à avertir les autres personnes ou encore mettre ces pièces à l'écart afin d'éviter tout contact,
  - nettoyer l'orifice de sortie du robinet d'une bouteille d'oxygène à l'aide d'un linge propre exempt d'huile,
  - jeter les morceaux d'électrodes chauds dans un contenant de métal approprié,
  - utiliser un allumoir à frottement pour allumer le chalumeau. Éviter les allumettes et les briquets, car ceux-ci peuvent prendre feu au contact de projections ou de la flamme du chalumeau et causer des brûlures graves,
  - après utilisation, fermer les robinets au niveau des bouteilles et mettre la pression de détente à O bar.

- **Équipement :**
  - pendant le travail, utiliser un support approprié pour poser le chalumeau afin d'éviter qu'on ne l'accroche de façon inconsidérée et dangereuse à la bouteille de gaz, au générateur ou à l'intérieur de corps creux,
  - maintenir l'équipement électrique du poste de soudage en bon état, en particulier les câbles d'alimentation et de retour de courant, car s'ils sont endommagés, il peut y avoir surchauffe. Utiliser des câbles de section adaptée à l'utilisation (HD 516 S2) et enrobés de caoutchouc (voir tableau 4.1 dans chapitre 4). Seuls sont recommandés les types harmonisés selon le document HD 22.6,
  - utiliser des vêtements de travail appropriés et homologués,
  - éviter les économiseurs à flamme permanents (risques de brûlures), utiliser plutôt soit des chalumeaux avec allumage automatique intégré ou des économiseurs automatiques à étincelage.

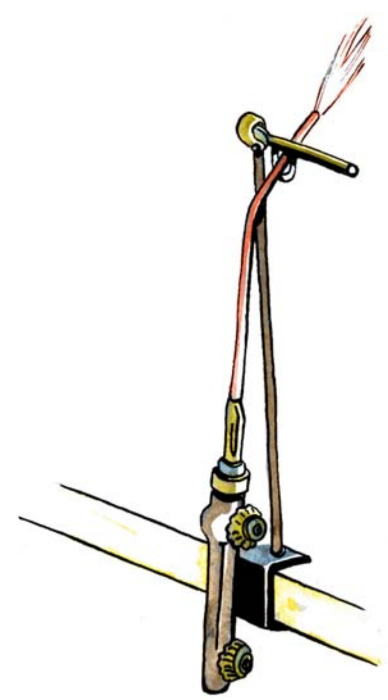


Figure 3.4 :
Support approprié lors du travail avec un chalumeau

B. Contrôle des matières combustibles

Voici quelques précautions à prendre en présence de matières combustibles :

- **Matières combustibles :**
  - s'assurer qu'aucune matière combustible ne se trouve à moins de 15 mètres du lieu de soudage,
  - s'il est impossible de déplacer les matières combustibles, placer des tôles ou des écrans afin de les protéger des projections.

- **Détection des fuites :**
  - vérifier l'étanchéité des régulateurs, des tuyaux et des raccords (procédés oxygaz). Seuls les détecteurs de fuite appropriés devraient être utilisés; une eau savonneuse peut contenir des corps gras susceptibles de réagir avec l'oxygène sous pression,
  - transporter à l'extérieur le plus rapidement possible les bouteilles de gaz qui fuient.

- **Aménagement des lieux de travail :**
  - toujours avoir l'extincteur approprié sur les lieux de soudage,
  - éviter d'entreposer les accessoires de soudage ou d'oxycoupage (raccords ou détendeurs) près des contenants d'huile ou de graisse,
  - vérifier quotidiennement et au besoin nettoyer les zones où les poussières peuvent s'accumuler (par exemple, la zone d'aspiration du procédé de coupe au laser),
  - protéger les planchers combustibles. Balayer le plancher puis mouiller à grande eau ou recouvrir le plancher de terre humide ou encore y placer un écran résistant au feu. Si le plancher est mouillé, les câbles électriques doivent être soutenus au-dessus du sol et les travailleurs doivent porter des bottes de caoutchouc et s'isoler de manière appropriée.

Précautions à prendre avant de travailler sur des réservoirs ayant contenu des produits dangereux

Les opérations de soudage, de coupage ou de meulage dans des réservoirs ayant contenu des produits dangereux comportent des risques élevés pour la santé et la sécurité. Les règles de sécurité suivantes s'ajoutent à celles déjà énoncées. Des procédures plus complètes sont présentées au chapitre 10.

En tout premier lieu, il faut éliminer toute trace de vapeurs toxiques ou inflammables générées par les résidus fixés aux parois des récipients. Avant de procéder au nettoyage d'un récipient, il faut absolument savoir quel produit il a contenu. La méthode de nettoyage appropriée sera déterminée en fonction du produit ayant été contenu dans le récipient. Les principales méthodes de nettoyage sont : le nettoyage à l'eau dans le cas des matières solubles (ne s'applique pas aux huiles ni à l'essence), l'utilisation d'une solution chimique chaude (détergent) ou le nettoyage chimique avec des solvants. Le choix d'une méthode de nettoyage devrait être approuvé par une personne qualifiée.

Les canalisations et les raccords menant aux réservoirs doivent être débranchés puis obturés conformément aux procédures de sécurité en vigueur.

S'il est impossible de bien nettoyer le réservoir ou si on veut réduire le risque d'accumulation des vapeurs, on peut remplir le réservoir de gaz inerte ou d'eau avant d'entreprendre le soudage. Si on choisit de remplir le réservoir d'eau, le niveau d'eau devrait être au-dessous du point de soudage. Il faut aérer l'espace intérieur qui se trouve au-dessus du niveau de l'eau. Cette pratique est courante pour le soudage des réservoirs à essence.

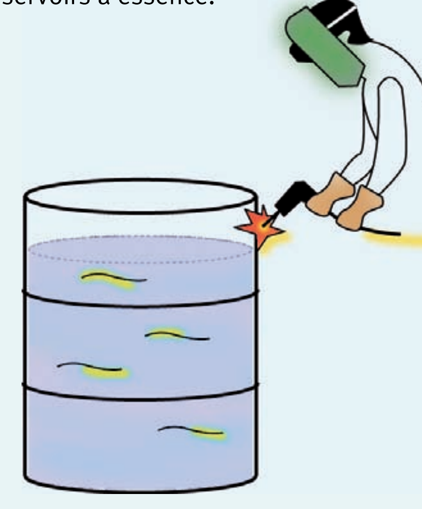


Figure 3.5 :
Remplissage d'un réservoir avec de l'eau : le niveau d'eau est sous la soudure

C. Prévention des retours de flamme et de gaz (procédés oxygaz)

Pour prévenir les retours de flamme et de gaz, il importe de suivre les méthodes de travail suivantes :

- **Méthodes de travail :**
  - **pression des gaz**. La vitesse à l'intérieur de la buse d'un chalumeau doit toujours être supérieure à la vitesse de propagation de la flamme, sinon la flamme rentre dans le chalumeau. Cela signifie que la pression des gaz doit être bien ajustée. S'assurer d'avoir assez d'oxygène et de gaz combustible pour effectuer les travaux,
  - **purge des tuyaux**. Avant d'allumer le chalumeau, il faut purger les tuyaux un à un. Cette opération consiste à laisser sortir du gaz par chacun des tuyaux tour à tour, de manière à chasser tout mélange inflammable qui pourrait s'y être accumulé. Dans le cas où une bouteille devrait être remplacée, purger complètement les tuyaux souples avant de rallumer le chalumeau. La purge ne doit pas se faire en atmosphère confinée ni à proximité d'une source de chaleur,
  - **nettoyage du chalumeau**. S'assurer que la buse du chalumeau est libre de toute forme de débris de métal. Des instruments de nettoyage spéciaux devraient être utilisés,
  - **procédure de fin de travaux.** À la fin des travaux, fermer les robinets du chalumeau, puis le robinet de chaque bouteille. Réouvrir les robinets du chalumeau pour baisser la pression des conduites et les refermer (la purge des tuyaux évitera la présence de gaz au moment de la réouverture de l'appareil). Ensuite, desserrer la vis de réglage de la pression sur les détendeurs (tourner vers la gauche). S'assurer que l'aiguille du manomètre haute pression indique « zéro » et que le robinet de la bouteille est fermé.

Pour assurer la sécurité des équipements oxygaz, il faut utiliser des clapets antiretours de gaz ainsi que des clapets antiretours de gaz et de flamme.

- **Clapet antiretour de gaz (clapet de non-retour ou clapet de retenue) :**
  Les clapets antiretours de gaz sont conçus pour arrêter le gaz ; en cas de défaillance, ils ne pourront arrêter le retour de flamme. Les clapets antiretours de gaz sont de plus en plus remplacés par des clapets antiretours de gaz et de flamme, qui sont plus efficaces pour limiter les risques.

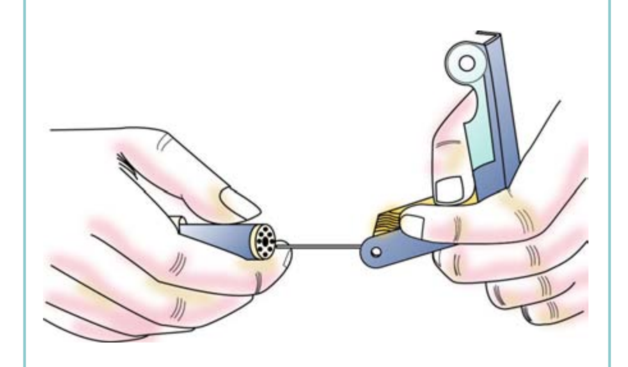


Figure 3.6 :
Utilisation d'un outil spécialement conçu pour nettoyer une buse de chalumeau

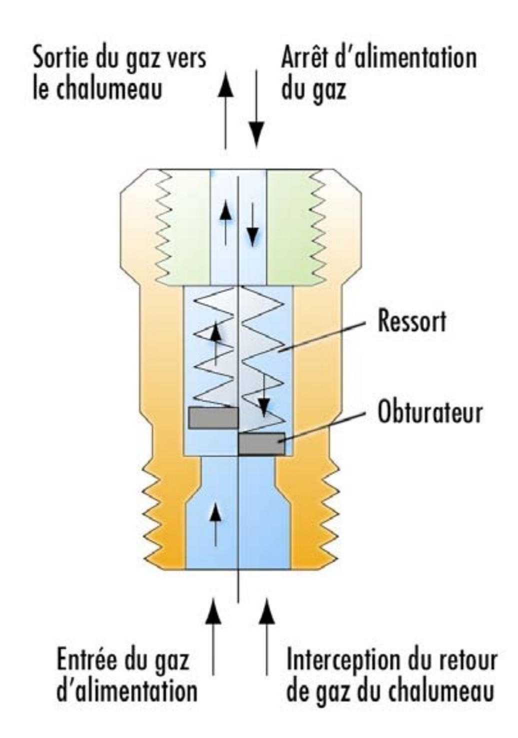


Figure 3.7 :
Clapet antiretour de gaz

- **Clapet antiretour de gaz et de flamme (antiretour pare-flamme)**
  Le clapet antiretour de gaz et de flamme est un dispositif qui empêche à la fois le gaz et la flamme de remonter et d'atteindre le tuyau, le détendeur ou même la bouteille de gaz.

  Lorsque le clapet antiretour est avec fusion, en cas de retour de flamme, une température élevée actionnera un dispositif (arrêt thermique) qui arrêtera le débit de gaz. Le clapet antiretour de gaz et de flamme doit être remplacé après son déclenchement, car l'arrêt thermique fond de façon permanente.

  On recommande d'installer les clapets antiretours de gaz et de flamme au niveau de la poignée du chalumeau sur les canalisations de gaz (oxygène et combustible).

  L'utilisation de tels clapets entraîne une perte de charge supplémentaire dans les conduits et on doit compenser cette perte en augmentant la pression des gaz. Dans le cas où on utilise un fort débit d'oxygène, comme sur les grosses têtes de coupe, la capacité des clapets pourrait être insuffisante. Ils devront alors être remplacés par des clapets installés au niveau du détendeur. Ces derniers seront également utilisés pour des installations en canalisations rigides (métalliques) permanentes.

D. Mesures de sécurité concernant les contenants sous pression

Les mesures de sécurité relatives aux contenants sous pression sont tirées de la réglementation française, de normes de sécurité ainsi que de pratiques recommandées par différents fournisseurs (voir en particulier les recommandations de l'Association Française des Gaz Comprimés (AFGC) pour les gaz comprimés ou du Comité Français du Butane et du Propane (CFBP) pour les gaz de pétrole liquéfiés).
Les méthodes de prévention sont regroupées en quatre catégories : l'entreposage, la manutention et le transport, l'utilisation ainsi que l'inspection des équipements de gaz sous pression.

- **Entreposage**
  Les principales mesures de sécurité régissant l'entreposage des gaz comprimés sont les suivantes :

  Avant la livraison :
  - s'assurer que la fiche de données de sécurité est disponible en atelier, et que le personnel a bien pris connaissance des données et des recommandations de sécurité. A défaut demander la fiche correspondante au fournisseur et procéder éventuellement à une formation de sécurité pour l'emploi du gaz considéré.

  À la livraison :
  - s'assurer que toutes les bouteilles de gaz portent l'étiquette identifiant le gaz contenu, sinon refuser leur livraison.

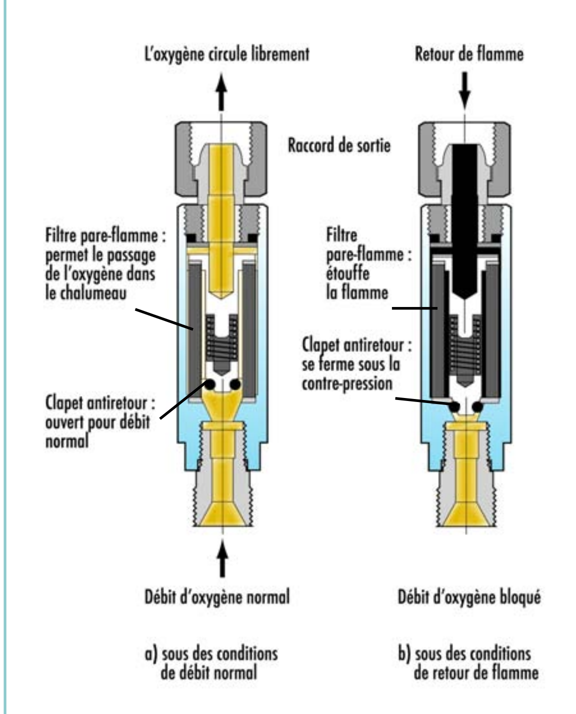


Figure 3.8 :
Clapet antiretour de gaz et de flamme

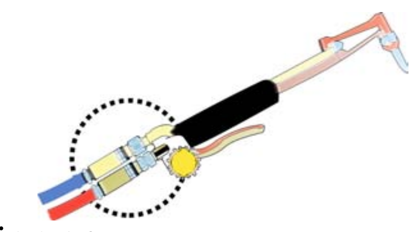


Figure 3.9 :
Installation de deux clapets antiretours de gaz et de flamme à la poignée d'un chalumeau coupeur

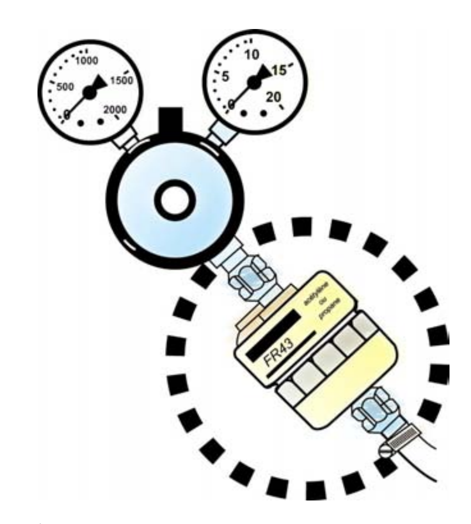


Figure 3.10 :
Installation d'un clapet antiretour de gaz et de flamme au niveau de la sortie du détendeur d'une bouteille avant le raccordement au tuyau

Lieu :

- installer une affiche dans les aires de rangement de gaz sous pression avec la mention « Défense de fumer »,
- entreposer les bouteilles dans un endroit bien ventilé et limiter l'accès aux personnes autorisées.
- Ne jamais entreposer les bouteilles de gaz dans une armoire ou dans un casier,
- entreposer les bouteilles loin des escaliers, des ascenseurs, des ponts-roulants, des monte-charges, des couloirs et des portes afin de ne pas bloquer les voies d'accès en cas d'urgence,
- les bouteilles vides doivent être identifiées (par exemple, marquées des lettres « VIDE » à la craie), rangées à l'écart des bouteilles pleines avec leur robinet fermé et leur chapeau de protection en place, puis retournées sans délai au fournisseur,
- entreposer les bouteilles et les accessoires dans un endroit où ils ne pourront être souillés par l'huile ou la graisse,
- ne jamais entreposer des combustibles avec des comburants (oxygène).

Température :

- ne jamais dépasser une température ambiante de 55° Celsius lors de l'entreposage ou de l'utilisation, car la température élevée fait augmenter la pression des gaz et peut provoquer une explosion,
- protéger les bouteilles des températures extrêmes (glace, rayons de soleil, source de chaleur, étincelles, etc.).

Attache et chapeau de protection :

- placer les bouteilles debout et les attacher avec une chaîne pour éviter qu'elles ne se renversent,
- fermer le robinet et installer le chapeau de protection.

Quantité :

- la réglementation française et en particulier des arrêtés types sur les installations classées pour la protection de l'environnement pris en application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 spécifie les exigences applicables aux quantités maximales de gaz à entreposer une entreprise ou dans un dans un bâtiment.,
- au-delà de ces quantités maximales, les gaz combustibles doivent être entreposés dans des locaux spécialement aménagés et conformes aux normes spécifiques. Les gaz combustibles peuvent également être stockés à l'extérieur en quantités illimitées, sous réserve de la réglementation en vigueur,
- le Code d'installation du propane limite cependant les quantités à 45 kg de propane pour des bouteilles raccordées à des opérations de soudage et de coupage. Ainsi, les bouteilles non raccordées devraient normalement être entreposées à l'extérieur,
- le tableau 3.2 présente les quantités maximales de gaz pouvant être entreposés dans un compartiment résistant au feu, soit un local ou une aire d'entreposage isolée du reste du bâtiment par des séparations coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.

Tableau 3.2 : Quantités maximales de gaz pouvant être entreposées sans déclaration selon les arrêtés types

Nature du gaz	Quantité maximale	Nombre de bouteilles
Acétylène	100 kg	3 grandes bouteilles
Hydrogène	100 kg	11 bouteilles de 50 l à 200 bar
Gaz de pétrole liquéfié	12 m^3	



Distance ou écran :

- une distance d'au moins 6 m doit séparer les bouteilles de gaz des matières inflammables ou combustibles : papier, bois, huile, graisse, solvant, peinture, etc. Sinon, placer un mur d'au moins 2 m pour l'acétylène et 1,75 m pour l'hydrogène de hauteur conçu pour résister au feu pendant au moins une demi-heure,
- les bouteilles d'oxygène doivent être séparées de 6 m des gaz combustibles ou séparées par un écran tel qu'il est stipulé au paragraphe précédent.

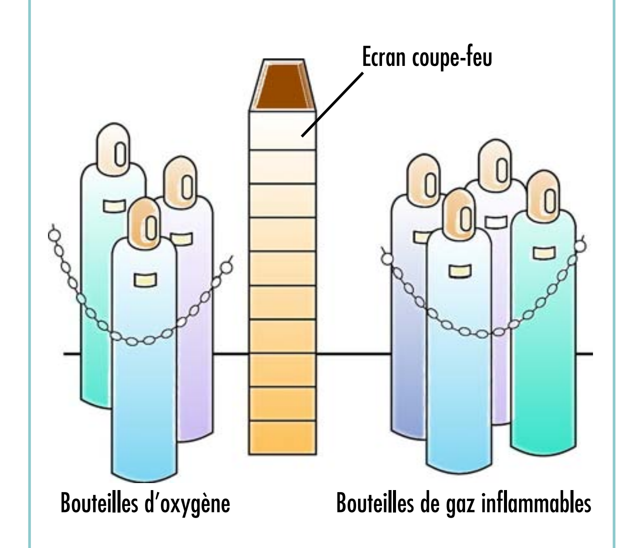


Figure 3.11 :
Entreposer les bouteilles à la verticale, les enchaîner et séparer les bouteilles d'oxygène des gaz combustibles

Étiquette

Une étiquette identifiant le produit doit être apposée par le fournisseur sur chaque bouteille. Si l'étiquette est absente, il faut retourner la bouteille à son fournisseur.
L'étiquette du fournisseur comporte les informations suivantes :

- identification du produit (nom commercial, marque, code, etc.),
- signaux de danger,
- énoncés de risques (nature du danger et conséquences d'une mauvaise utilisation),
- mesures de prévention (précautions à prendre pour une utilisation normale du produit et pour les cas d'urgence) : ces renseignement sont en général fournies par la fiche de données de sécurité,
- dentification du fournisseur (nom et adresse).



Figure 3.12 :
Exemples d'étiquettes

- **Manutention et transport :**
  - les bouteilles de gaz devraient être manipulées avec précaution afin d'éviter les accidents,
  - avant de déplacer une bouteille, il faut toujours s'assurer que le robinet est fermé et le chapeau de protection bien en place,
  - il ne faut pas soulever la bouteille par le chapeau de protection. Utiliser des chariots appropriés ou encore pencher la bouteille puis la rouler sur sa base. Ne pas faire glisser ou traîner la bouteille sur le sol afin d'éviter toute perte de contrôle de la bouteille de gaz,
  - pour le transport des bouteilles à la verticale, il faut utiliser une nacelle ou une plate-forme. Les aimants et les élingues sont à proscrire, car ils ne sont pas conçus pour cette application,
  - ne pas laisser tomber ni s'entrechoquer les bouteilles de gaz surtout pour l'acétylène, car le choc pourrait endommager la garniture poreuse,
  - pour transporter des bouteilles dans des véhicules automobiles, il faut les placer debout et les attacher. Les robinets doivent être fermés et les chapeaux de protection en place. Le véhicule doit être ventilé. Le stockage dans un coffre ou une voiture fermé est interdit, il y a de graves risques,
  - ne pas transporter des bouteilles de gaz munies d'un détendeur.

Attendre au moins une heure avant d'utiliser une bouteille d'acétylène qui aurait été transportée à l'horizontale ou qui aurait été renversée, car l'acétone (solvant) pourrait perturber la flamme.

- **Utilisation :**

L'utilisation de gaz comprimés devrait se faire avec prudence. Vous trouverez dans les lignes qui suivent les précautions d'usage à prendre quand on utilise des bouteilles de gaz :

Détenteur :
- utiliser un détendeur propre (sans graisse) et approprié au format de la bouteille et au type de gaz utilisé. Le filtre du raccord d'entrée doit être propre.

Fixation :
- s'assurer que la bouteille est fixée à la verticale au mur ou attachée dans un chariot conçu à cette fin,
- éloigner suffisamment la bouteille de la pièce à souder pour éviter une continuité électrique et la placer hors d'atteinte des étincelles et des flammes. La bouteille doit toujours être facilement accessible afin que l'on puisse aisément fermer le robinet en cas d'urgence.



Figure 3.13 :
Faire rouler une bouteille de gaz en position verticale sur sa base afin de la déplacer ou utiliser un chariot

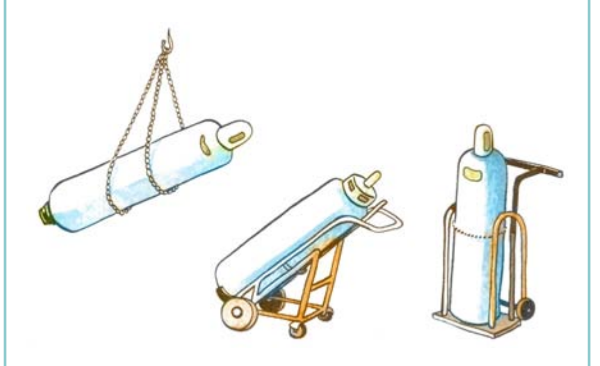


Figure 3.14 :
Utiliser un diable pour le transport des bouteilles, jamais d'élingues ni de chaînes

Ouverture du robinet :

- l'opérateur ne doit pas se tenir devant ni derrière le détendeur pour ouvrir le robinet d'arrêt (robinet de la bouteille de gaz), car des poussières pourraient être projetées et le blesser. Il ne faut pas non plus effectuer cette étape près d'un lieu où l'on fait du soudage-coupage, car le gaz s'échappant près d'une flamme pourrait prendre feu. L'ouverture du robinet doit se faire de façon progressive.

Dégel :

- pour dégeler un robinet, il ne faut jamais utiliser de l'eau bouillante ou encore une flamme. Le robinet et le goulot de la bouteille possèdent des joints qui peuvent fondre même à une température aussi basse que 74° Celsius. Il faut donc dégeler le robinet avec de l'eau chaude, mais non bouillante.

• Inspection des tuyaux et des raccords :

Chaque semaine, l'opérateur devrait effectuer l'examen visuel des tuyaux et des raccords pour détecter toute défectuosité. Voici les points importants à vérifier :

Longueur et qualité des tuyaux :

- s'assurer d'abord d'avoir le bon type de tuyau. Le code de couleur réfère aux produits qui circulent dans le tuyau alors que le code de nuance réfère à l'usage qu'on en fait. Les tuyaux d'oxygène sont généralement bleu et le raccord fileté est à droite. Les tuyaux de combustible sont rouges ou orange et le raccord fileté est à gauche. La rainure ou l'encoche placée sur l'écrou indique qu'il s'agit d'un filetage à gauche,
- vérifier la compatibilité des tuyaux (voir tableau 3.3) : orange pour GPL, rouge pour acétylène,
- l'emmêlement des tuyaux (tuyaux en spaghetti) peut réduire l'écoulement des gaz, ce qui risque de causer des claquements et des retours de flamme. Comme les tuyaux ont tendance à s'entremêler lorsqu'ils sont de qualité inférieure, toujours utiliser de bons tuyaux assez souples et éviter qu'ils ne s'emmêlent. Ne jamais utiliser de tuyaux plus longs qu'il ne faut.

Tableau 3.3 : Code de couleur des tuyaux (NF EN ISO 14113)

Produit	Couleur
Oxygène	Bleu
Acétylène, hydrogène, gaz de pétrole liquéfié	Rouge
GPL	Orange
gaz inerte, eau et gaz comprimé	Noir

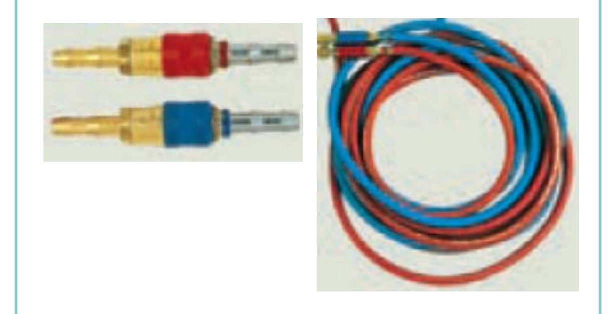


Figure 3.15 :
Raccords et tuyaux d'oxygène et de gaz combustible

État des tuyaux :

- vérifier l'état des tuyaux avant de les utiliser. Rechercher tout signe de défectuosité : craquelures, fissures, séparation des couches de matériel ou tout autre signe d'usure. Si ces signes sont apparents, il faut remplacer le tuyau. Remplacer immédiatement un tuyau qui fuit. Ne pas utiliser de ruban gommé pour réparer une fuite, mais utiliser des raccords conçus spécialement pour les tuyaux oxygaz afin d'effectuer des réparations étanches.

Ne jamais réparer un tuyau qui fuit avec du ruban adhésif car celui-ci n'est pas assez étanche.

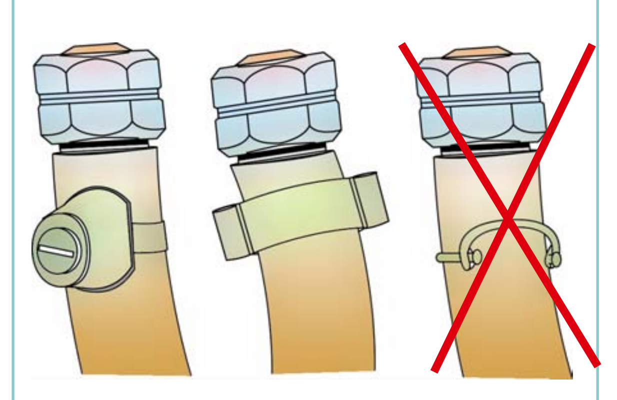


Figure 3.16 :
Bons et mauvais types de colliers

Colliers (voir NF EN 1256) :

- il est important d'utiliser des colliers appropriés pour les procédés oxygaz lorsque l'on veut rallonger les tuyaux. Ces colliers sont faciles à utiliser et ils ont moins tendance à fendiller les tuyaux de gaz. Des colliers inadéquats résistent mal aux fortes tensions, ce qui peut entraîner des fuites ou la rupture des raccords.

Détendeurs :

- inspecter les manodétendeurs pour déceler les filetages endommagés, la présence de poussières, de souillures, d'huile, de graisse ou de toute autre substance inflammable. Enlever la poussière et les souillures avec un linge propre. Il faut également s'assurer que le filtre interne est propre et bien en place. Une vérification annuelle devrait être effectuée par des personnes qualifiées pour s'assurer que le détendeur fonctionne conformément aux spécifications du fabricant,
- ne jamais démonter un détendeur .La réparation d'un détendeur doit être effectuée par une personne habilitée (en général le constructeur).

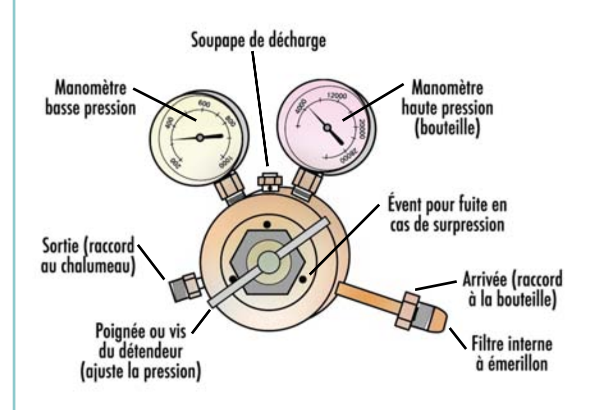


Figure 3.17 :
Composantes d'un détendeur

Le SYMOP, syndicat des entreprises de technologies de production, a publié les recommandations suivantes à l'usage des utilisateurs de matériels de soudage :

A. Recommandations pour l'entretien des matériels de soudage chauffage et coupage oxy-gaz



RECOMMANDATIONS POUR L'ENTRETIEN DES MATÉRIELS

de soudage chauffage et coupage oxy-gaz

Équipements	EXAMEN VISUEL - VÉRIFICATION ESSAI D'ÉTANCHÉITÉ		RÉVISION OU REMPLACEMENT (1) (3)
	À CHAQUE CHANGEMENT DE BOUTEILLE	ANNUELLEMENT	
Détendeurs (2)	Examen visuel : • du bon état des filetages, des joints, des manomètres, des raccords d'entrée et de sortie, • de l'absence de produits gras.	• Essai d'étanchéité à la pression de service.	• Révision ou remplacement au plus tard tous les cinq ans.
Raccords rapides à obturateur	• Vérification du bon fonctionnement du verrouillage.	• Essai d'étanchéité à la pression de service.	• Remplacement systématique en cas d'incident de fonctionnement.
Tuyaux souples	• Vérification des couleurs des tuyaux en fonction des gaz. • Examen visuel pour s'assurer du bon état et de la propreté des tuyaux.	• Examen visuel sur tuyau cintré pour déterminer l'absence de déchirure, de gonflement, de blessure et de craquelure.	Remplacement : • si l'examen visuel a décelé des blessures, • au plus tard tous les trois ans après mise en service pour service intensif (chantier par exemple), • au plus tard tous les cinq ans après mise en service dans les autres cas. Nota : la date indiquée sur le tuyau est celle de fabrication.
Anti-retours arrêts de flamme	Vérification : • de leur présence, • des couleurs en fonction des gaz.	• Examen visuel et essai d'étanchéité.	• Remplacement : en cas de retour de flamme violent ou au plus tard tous les trois ans après mise en service.
Chalumeaux	• Examen visuel du bon état des buses.	• Examen visuel complet et essai d'étanchéité.	• Révision ou remplacement au plus tard tous les cinq ans après la date de mise en service.



(1) Les révisions des équipements doivent être effectuées par le constructeur, ou par des réparateurs recommandés par lui. De plus, en cas de dysfonctionnement, les appareils doivent être révisés ou remplacés.
(2) Ne s'applique pas aux détendeurs intégrés à la bouteille qui sont entretenus par le fournisseur de gaz.
(3) Renseignez vous auprès de votre fournisseur sur les données de sécurité des gaz que vous utilisez.

RÉFÉRENCES normatives

Détendeurs
NF EN ISO 2503
ou
NF EN 585

Raccords rapides à obturation
NF EN 561

Tuyaux souples
NF EN 559
ou
NF EN 1327

Anti-retours arrêts de flamme
NF EN 730 - 1
NF EN 730 - 2

Chalumeaux
NF EN ISO 5172

Consignes de sécurité pour le démarrage d'un procédé oxygaz

Installation des détendeurs :

- choisir le manodétendeur approprié au type de gaz et à la pression de la bouteille utilisée,
- fixer la bouteille à la verticale au mur ou l'attacher sur un chariot conçu à cette fin,
- avant de monter un détendeur sur une bouteille de gaz, nettoyer l'orifice de la bouteille de gaz à raccorder avec un linge propre non pelucheux, sans huile ni graisse. S'assurer que le filtre interne à émerillon est propre et en place,
- purger le canal de sortie du robinet des bouteilles de gaz en l'ouvrant légèrement et en le refermant immédiatement ; cette opération, nommée « décollement », sert à chasser la poussière ou les saletés susceptibles de se trouver dans le robinet, pour éviter qu'elles ne se retrouvent dans le détendeur. Ne jamais procéder à cette opération à proximité de travaux de soudage, d'une flamme, d'étincelles ou d'autres sources de chaleur,
- fixer le détendeur au robinet de la bouteille de gaz et serrer le raccord fermement avec une clef adéquate.

Ouverture des bouteilles :

- avant d'ouvrir le robinet de la bouteille, faire tourner la vis de réglage de la pression du détendeur dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que le diaphragme de réglage de la pression soit libéré et que la vis tourne librement,



- ouvrir le robinet de la bouteille d'OXYGÈNE très lentement jusqu'à ce que la pression maximale soit atteinte sur le manomètre de haute pression du détendeur,
- si le robinet d'une bouteille est ouvert trop rapidement, l'oxygène peut prendre feu dans le détendeur et blesser l'opérateur (compression adiabatique). Il faut donc se tenir à côté du détendeur et non face à celui-ci,
- continuer à ouvrir le robinet complètement pour permettre l'étanchéité totale du raccord de robinet. Dans le cas de l'ACÉTYLÈNE, ne jamais ouvrir le robinet de la bouteille de plus d'un tour et demi.

Purge du système :

- ajuster les deux manodétendeurs à environ 70 kPa ou 0,7 bar,
- ouvrir la soupape de GAZ COMBUSTIBLE pendant 5 s par 8 m de tuyau. Ensuite, la refermer,
- ouvrir la soupape d'OXYGÈNE pendant 5 s par 8 m de tuyau. Ensuite, la refermer,
- toujours effectuer la purge du système dans un endroit bien ventilé et exempt de flammes ou d'autres sources de chaleur.

Réglage des pressions d'utilisation :

- ouvrir le robinet d'OXYGÈNE du chalumeau et régler la pression de sortie à un niveau approprié pour la taille et le type de buse utilisés. Puis refermer le robinet d'oxygène du chalumeau,
- ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE du chalumeau et régler la pression d'utilisation du gaz combustible entre les limites prescrites (toujours selon la taille et le type de buse utilisés). Puis refermer le robinet de gaz combustible du chalumeau.

Allumage du chalumeau :

- après avoir purgé le système, ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE d'environ un huitième de tour et allumer le gaz avec un allumoir à frottement en évitant de pointer la flamme vers les bouteilles ou des matières combustibles,
- continuer l'ouverture du robinet de GAZ COMBUSTIBLE jusqu'à l'élimination de la fumée et de la suie des flammes,
- ouvrir lentement le robinet d'OXYGÈNE jusqu'à l'apparition d'une flamme neutre et brillante de forme conique,
- augmenter l'ajustement de la flamme en ouvrant les robinets du chalumeau ou en augmentant la pression. Il ne faut jamais réduire le débit de la flamme, car cela peut faire surchauffer la tête de la buse, ce qui peut provoquer un retour de flamme.

Règles importantes à propos de l'oxygène :

Ne jamais substituer l'oxygène à l'air. Toujours l'appeler « oxygène ».

Ne pas utiliser dans des conduites d'air comprimé, pour les outils pneumatiques, pour chasser la poussière, pour nettoyer les vêtements ou pour la ventilation.

Précautions particulières à prendre pour l'acétylène :

Le robinet de la bouteille d'acétylène devrait être ouvert préférablement de trois quarts de tour (270°) et jamais de plus d'un tour et demi pour qu'on puisse le refermer en cas d'urgence rapidement.

L'acétylène ne devrait pas être utilisé à une pression manométrique supérieure à 150 kPa.

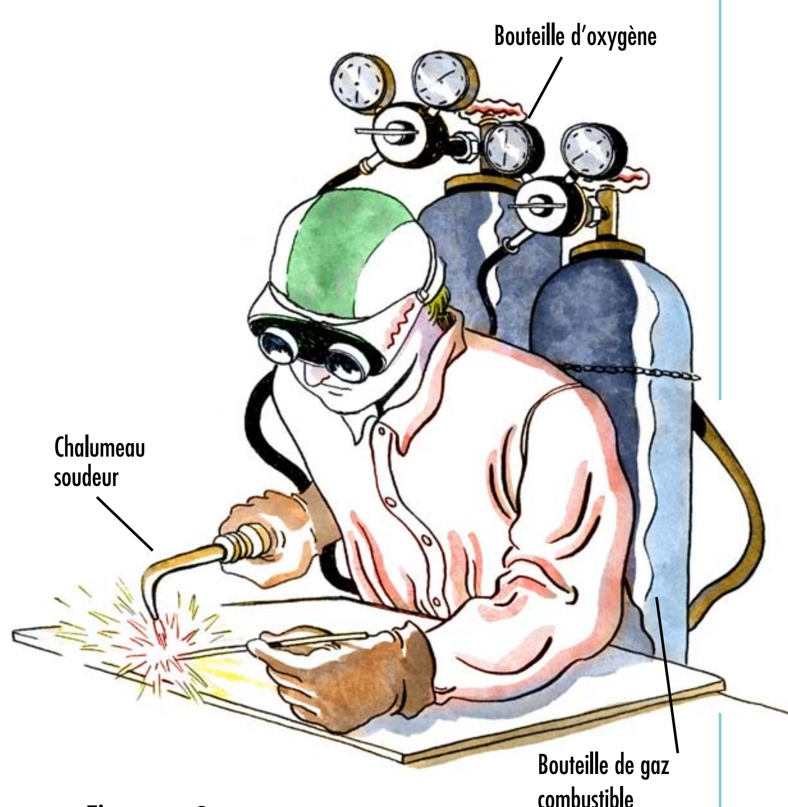


Figure 3.18 :
Procédé oxygaz

B. Recommandations du SYMOP pour la maintenance des installations de distribution de gaz industriels

RECOMMANDATIONS

Rappel : en cas de travaux à effectuer sur l'installation, la réglementation impose la nécessité d'un permis de travail, tel qu'indiqué aux prescriptions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Nota : pour une meilleure compréhension se référer au schéma (voir figure 3.19).

1 Bouteilles et cadres

- vérifier le bon état des fixations des bouteilles, dans le but d'éviter leurs chutes, ce qui provoquerait des tensions sur les lyres et flexibles. De plus, en cas de rupture de ces derniers, leurs battements pourraient entraîner la chute des bouteilles,
- tous les robinets des bouteilles et des cadres d'une même rampe ou d'un même cadre doivent être ouverts, afin d'équilibrer les pressions,
- vérifier l'étanchéité du raccordement à chaque changement de bouteille ou de cadre, à l'aide d'un produit détecteur de fuites,
- le sol sur lequel reposent les bouteilles ou cadres, doit être plan et dégagé afin de pouvoir accéder rapidement aux robinets en cas d'urgence,
- l'aire de stockage doit être maintenue propre et régulièrement nettoyée de manière à éviter l'accumulation de produits combustibles (papiers, cartons, feuilles...).

2 Flexibles, lyres et tubulures articulées de raccordement

Attention les vérifications mentionnées ci-après doivent être effectuées hors pression :

- vérifier que les câbles de sécurité des flexibles sont attachés correctement, afin d'éviter leur battement en cas de rupture,
- pour les flexibles, effectuer à chaque changement de bouteille un examen visuel de l'état de la tresse pour s'assurer de l'absence de cassure, de rupture de fils de tresse, de points de corrosion, ainsi que du bon état du joint d'étanchéité,
- même si l'examen visuel est satisfaisant, nous recommandons un changement du flexible au moins tous les cinq ans la date de référence étant apposée sur les flexibles,
- pour les lyres et tubulures articulées, vérifier leur souplesse (contacter le fournisseur pour de plus amples informations si nécessaire),
- vérifier l'étanchéité du raccordement à chaque changement de bouteille ou de cadre, à l'aide d'un produit détecteur de fuites.

3 Rampes collectrices

- vérifier une fois par an l'étanchéité externe sous gaz, à la pression de service, par un contrôle à l'aide de produit détecteur de fuites,
- faire vérifier une fois par an, le bon fonctionnement des équipements de la rampe par une société recommandée par le fabricant (robinets, clapets anti-retour, manomètres, etc.).

4 Ensemble de détente et d'inversion

- **Manomètres :**
  - vérifier visuellement que tous les manomètres sont en bon état et donnent des indications correctes, par exemple pour la pression maximale et le zéro.

- **Détendeurs :**
  - vérifier une fois par an l'étanchéité externe sous gaz, à la pression de service, par un essai à l'aide d'un produit détecteur de fuites,
  - faire vérifier une fois par an le bloc de détente (filtre, clapet, membrane, soupape, vannes d'arrêt et de purge) par une société recommandée par le fabricant.

- **Système de signalisation :**
  - vérifier une fois l'an, le bon fonctionnement du système de signalisation à distance s'il existe.

5 Dispositifs de sécurité acétylène

- les anti-retours de gaz situés à la sortie des bouteilles et cadres d'acétylène, doivent faire l'objet d'une révision une fois par an par une société recommandée par le fabricant,
- en cas de présence d'un diaphragme d'éclatement, il est nécessaire de faire un examen visuel côté extérieur afin de s'assurer de l'absence de détérioration,
- une vérification complète doit également être effectuée à la suite de chaque incident. Si nécessaire les équipements seront changés en fonction des instructions des fabricants.



⑥ Canalisations de distribution

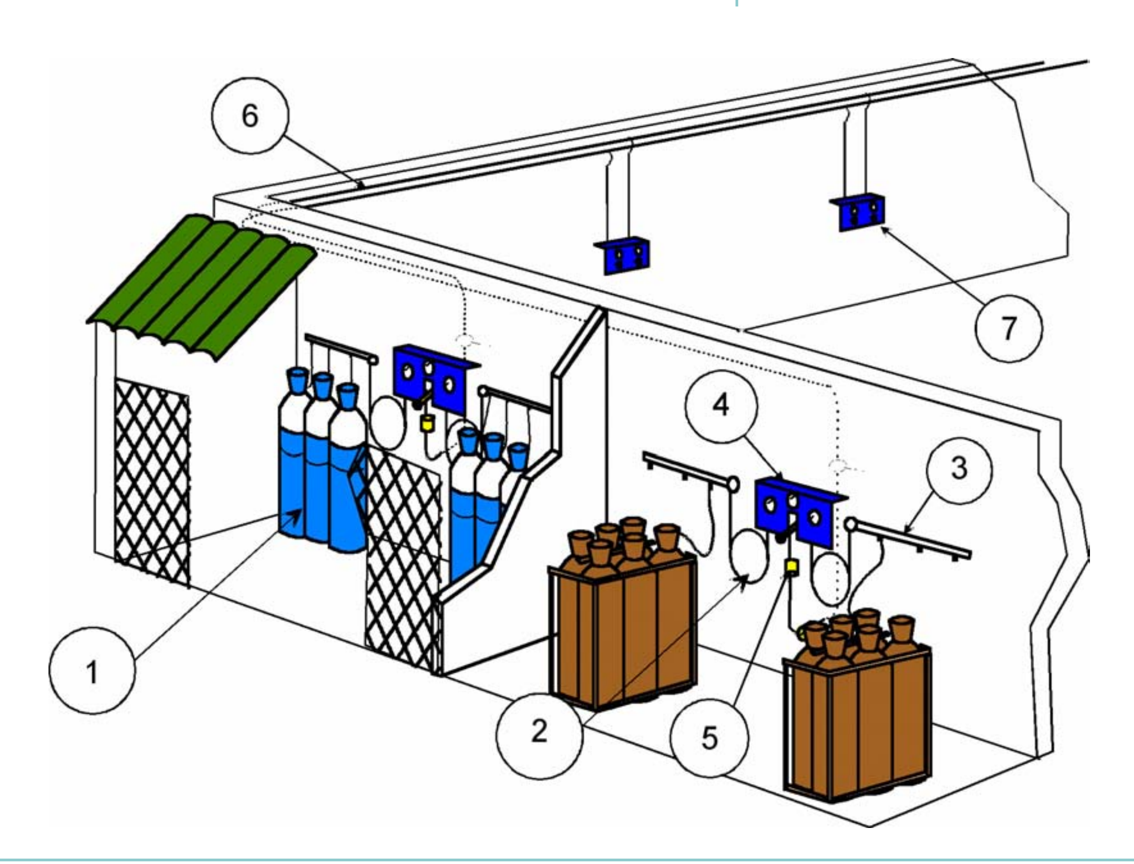
ATTENTION. Le démontage des matériels et des bouchons éventuels de purge peut entraîner un risque d'explosion (cas des gaz combustibles). Cette opération doit être effectuée par du personnel formé, ou par une société recommandée par le fabricant de ces équipements.

- Une fois par an :
  - effectuer un examen visuel pour s'assurer de l'absence de corrosion externe et de dommage,
  - s'assurer de la présence et de la continuité de la mise à la terre électrique de la canalisation,
  - effectuer un essai d'étanchéité, sous gaz, des organes de raccordement, à l'aide d'un produit détecteur de fuites,
  - vérifier l'identification correcte de la canalisation par rapport au gaz véhiculé,
  - pour les canalisations enterrées, s'assurer de l'absence d'effondrement du terrain.

⑦ Poste d'utilisation

- Effectuer une fois par an :
  - un essai d'étanchéité externe sous gaz, à l'aide d'un produit détecteur de fuites,
  - un examen visuel pour s'assurer du bon état externe des manomètres, débitmètres, vannes et détendeurs,
  - pour les autres équipements il y a lieu de se référer à la recommandation du Symop « *Recommandations pour l'entretien des matériels de soudage chauffage et coupage oxy-gaz* » (voir pages précédentes).

Figure 3.19 :
Schéma de principe d'une centrale de détente et de distribution de gaz pour le soudage (les numéros correspondent aux paragraphes précédents)



Documents réglementaires :

Décret 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 **relative aux installations classées pour la protection de l'environnement**, ainsi que les textes d'application, dont notamment le décret du 7 juillet 1992, qui modifie la nomenclature des installations classées.

Documents normatifs :

- **NF A 84-440** « Centrales de détente pour la distribution des gaz comprimés, dissous et liquéfiés. »
- **FD A 84-441** « Matériel de soudage aux gaz et techniques connexes – Réseau de distribution des gaz en usine – Règles de sécurité pour la conception, la réalisation et l'exploitation. »
- **NF X 08-100** « Couleurs – Tuyauteries rigides – Identification des fluides par couleurs conventionnelles. »
- **NF EN 562 (A 84-410)** « Matériel de soudage aux gaz – Manomètres utilisés pour le soudage, le coupage et les techniques connexes. »
- **NF EN 961 (A 84-433)** « Matériel de soudage aux gaz – Détendeurs des centrales de bouteilles (de gaz industriels) pour le soudage, le coupage et les techniques connexes jusqu'à 200 bars. »
- **NF EN ISO 14113 (A 84-419)** « Matériel de soudage aux gaz – Flexibles en caoutchouc et en matière plastique pour les gaz comprimés et liquéfiés jusqu'à une pression nominale maximale de 450 bars. »
- **NF EN ISO 15615** « Matériels de soudage aux gaz – Centrales de bouteilles d'acétylène pour le soudage, le coupage et les techniques connexes – Exigences de sécurité relatives aux dispositifs haute pression. »

Documents IGC notamment :

- **IGC 18/82/F** « Code de bonne pratique pour la conception et l'utilisation des cadres de bouteilles d'acétylène dissous. »
- **IGC 20/83/F** « Distribution d'oxygène, d'acétylène et des mélanges de méthylacétylène dans les ateliers des utilisateurs. »
- **IGC 42/89/F** « Comment éviter les ruptures de flexibles dans les installations de gaz haute pression. »

Autres documents :

- Fiches de données de sécurité concernant l'utilisation des gaz industriels, dans le cadre de l'application de l'article R 231.53 du code du travail.

Chapitre 4

Les risques d'électrisation

Les riques d'électrisation

Le risque d'électrisation est souvent pris à la légère en soudage-coupage, ce qui ne devrait pourtant pas être le cas !

Si l'équipement de protection individuelle est en bonne condition et approprié au procédé de soudage, le soudeur est protégé du risque de décharge électrique. Toutefois il peut y avoir danger de mort dans certaines circonstances, même si l'équipement de soudage à l'arc fonctionne à très basse tension.

Les statistiques ne font pas ressortir toute l'importance de ce danger car les données n'indiquent pas toujours les causes réelles des accidents.

Par exemple, si un soudeur se blesse en tombant à la suite d'une décharge électrique, les statistiques feront état d'une chute et non d'une électrisation.



Le soudage et le coupage à l'arc électrique ou par résistance sont des activités qui présentent des risques d'électrisation notamment parce que le soudeur manipule un porte-électrode sous tension.

L'intensité de la décharge électrique varie selon la résistance du corps humain. Par exemple, si on a les mains mouillées, on favorise le passage du courant dans le corps puisque les mains offrent alors très peu de résistance. De la même façon, un sol humide ou conducteur augmente les risques d'électrisation.

Une électrisation même à une tension aussi faible que 80 volts peut avoir des conséquences très graves et même causer la mort. Tout dépend dans quelles conditions survient la décharge électrique.

Notions de base en électricité

TENSION OU VOLTAGE (V)

La tension est la force électromotrice qui pousse les électrons à circuler.
Voici quelques synonymes de tension électrique : différence de potentiel, force électromotrice et voltage.
➟ Son unité est le volt (V).

RÉSISTANCE (R)

La résistance R permet d'évaluer la propriété conductrice des matériaux. Plus la résistance est faible, meilleure sera la conductivité. Ainsi, le cuivre, dont la résistance est faible, est reconnu comme étant un excellent conducteur.
➟ Son unité est l'ohm (Ω).
L'eau étant conductrice, le soudeur est un meilleur conducteur lorsqu'il est mouillé.

COURANT (I)

Le courant désigne le nombre de charges électriques débitées chaque seconde dans un circuit électrique par un générateur électrique.
L'intensité d'un courant (ou ampérage) est symbolisée par I.
➟ Son unité est l'ampère (A):
1 A = 1 ampère = 1 000 milliampères = 1 000 mA.

INFORMATION

Quelle différence y a-t-il entre l'électrocution et l'électrisation ?
Les deux termes décrivent les conséquences d'une décharge électrique. On parle d'électrocution lorsque la décharge cause la mort et d'électrisation quand les blessures ne sont pas mortelles. Le terme électrisation est le plus fréquemment utilisé, car il y a toujours électrisation avant l'électrocution.

A. Facteurs qui augmentent le risque d'électrisation

- **La présence d'humidité dans le milieu.** Le soudage en milieu humide, le port de vêtements imbibés de sueur ou la présence d'eau sur le plancher augmentent le risque d'électrisation en réduisant la résistance au passage du courant.

- **Un travail sur une surface conductrice.** Un plancher métallique, une cuve, un réservoir ou la structure métallique d'un bâtiment peuvent augmenter les risques d'électrisation car les outils et les vêtements offrent très peu de résistance électrique dans ces circonstances. Par exemple : monter sur une structure d'acier pour y souder une pièce.

- **Une mise à la terre inadéquate.** Un fil de mise à la terre endommagé, mal branché ou un mauvais contact (résistance au point de connexion) réduisent la protection que procure une bonne mise à la terre.

- **Un mauvais entretien des équipements.** Un porte-électrode défectueux, un câble d'alimentation usé ou une gaine isolante endommagée augmentent le risque d'électrisation.

- **Une méthode de travail non sécuritaire.** Souder sans utiliser les moyens et les équipements de protection et d'isolation appropriés ou ne pas relier adéquatement la pince de retour de courant peut constituer des risques supplémentaires.

- **La méconnaissance du risque.** Un manque de formation ou d'information à la suite, par exemple, de l'introduction d'une nouvelle méthode de travail ou de l'implantation d'un nouveau procédé constitue un risque très important.



Analogie avec un système hydraulique

Pour faire mieux comprendre le concept de tension électrique, on a souvent recours à l'analogie avec un système hydraulique, c'est-à-dire une conduite dans laquelle circule un liquide.
Prenons un tuyau contenant de l'eau, qui est relié à un réservoir surélevé et fermé à l'autre extrémité par un robinet. Bien que, dans le tuyau, l'eau soit sous pression, il ne s'y produit pas d'écoulement. Si on ouvre le robinet, l'eau va s'écouler et un débit d'eau va s'établir. En électricité, un phénomène équivalent se produit. La pression d'eau est comparable à la tension électrique, le débit au courant et le robinet à une résistance ; plus le robinet est ouvert, plus la résistance est faible et, par conséquent, plus le débit augmente.

Loi d'Ohm :

La loi d'Ohm exprime le lien entre la tension, le courant et la résistance.
Cette loi s'exprime par la formule suivante :

V= R x I (voltage = résistance multipliée par le courant).
V : différence de potentiel, mesurée en volt (V).
R : résistance du matériau, mesurée en ohm (Ω).
I : intensité du courant, mesurée en ampère (A).

Dans l'équation, pour une même tension électrique, plus la résistance est faible et plus le courant sera élevé et, toujours pour une même tension électrique, plus la résistance est élevée et plus le courant sera faible. Pour une même résistance, plus le voltage est élevé et plus le courant sera élevé et, toujours pour une même résistance, plus le voltage est faible et plus le courant sera faible.

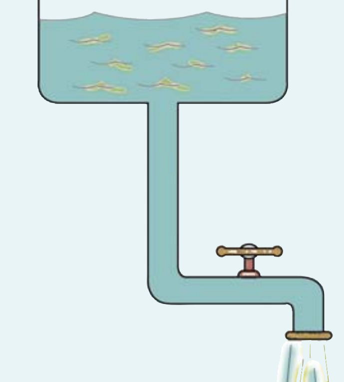


Figure 4.1 :
Analogie avec un système hydralique

B. Causes de l'électrisation

Il y a électrisation quand il y a passage de courant dans une partie du corps. On peut classer les contacts avec un conducteur ou une pièce sous tension en deux catégories :
- les contacts directs,
- les contacts indirects.

- **Les contacts directs**
  Une partie du corps entre en contact avec une pièce sous tension, par exemple l'électrode ou un porte-électrode mal isolé. Dans le soudage à l'arc, on trouve au bout de l'électrode la tension à vide du générateur. Si, par surcroît, une partie du corps offre un passage au courant (pieds dans l'eau, contact avec une pièce mise à la terre, etc.), il y a risque d'électrisation. Le travailleur est ainsi exposé à la tension secondaire du poste de soudage.

- **Les contacts indirects**
  Le corps entre en contact avec une pièce métallique qui est anormalement mise sous tension. Il arrive que certaines composantes métalliques du poste de soudage telles que le boîtier, le capot ou le volant de manœuvre soient accidentellement mises sous tension par suite d'un défaut conjoint dans l'isolation des pièces sous tension et dans le fonctionnement du dispositif de protection. Le défaut d'isolation peut provenir d'un court-circuit ou d'un défaut de connexion.
  Le travailleur risque alors d'être exposé à la tension primaire, qui est beaucoup plus élevée que la tension secondaire.

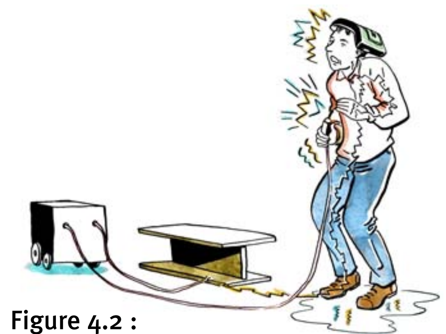


Figure 4.2 :
Contact direct : le courant passe par l'électrode et revient par la pince de retour en passant par le sol humide



Figure 4.3 :
Contact indirect : utilisation d'un porte électrode défectueux qui permet le passage du courant d'une main vers l'autre main qui est en contact avec une pièce de structure mise à la terre

A. Effets ressentis

Les effets peuvent aller du simple picotement aux brûlures graves et à la mort. De plus, le courant alternatif déclenche la contraction des muscles, ce qui explique que, souvent, les victimes n'arrivent pas à se dégager d'elles mêmes et se sentent « collées » à la pièce sous tension. Si les muscles respiratoires sont touchés par la contraction, on risque l'asphyxie. Si le cœur est atteint, il peut entrer en fibrillation ou même arrêter de battre.

Les dommages aux tissus humains sont occasionnés par le courant qui y circule. L'intensité du courant et la durée de l'électrisation ont donc un effet direct sur les perceptions et la gravité des blessures.

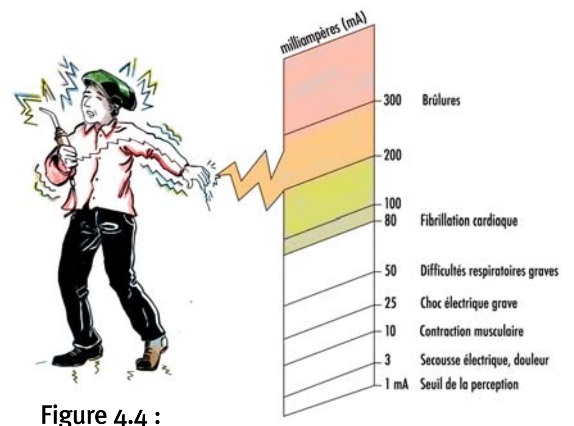


Figure 4.4 :
Échelle présentant les conséquences du passage d'un courant alternatif dans le corps

Intensité du courant

Application de la loi d'Ohm : U = R x I.
Avec U = 80 volts
(tension à vide au porte-électrode) :

Durant le soudage, comme la résistance du contact électrique entre la pièce à souder et l'électrode est faible, le courant qui passe dans le circuit secondaire sera très élevé: 100, 200, 300 ampères ou plus. Même si la différence de voltage est faible, soit de 20 à 40 volts, l'intensité élevée du courant s'explique par la faible résistance du circuit formé par l'électrode, la pièce et le câble de retour.

Si la personne ne porte pas de gants et a les deux pieds dans l'eau
(R = environ 750 ohms),
80 = 750 x I
I = 0,11 A (soit 110 mA), ce qui est suffisant pour entraîner des lésions mortelles.

Ainsi, une personne qui touche au porte-électrode les pieds dans l'eau ou sur une surface métallique sera exposée à une différence de potentiel de 80 ou 100 volts, c'est-à-dire que sa main est à la tension à vide du poste de soudage (80 ou 100 volts) et ses pieds sont au potentiel de la mise à la terre (soit 0 volt). Le courant qui traversera son corps variera en fonction de sa résistance électrique.

Si la personne porte des bottines isolantes et a les mains sèches
(supposons que R = 1 million d'ohms),
80 = 1 million d'ohms x I
I = 0,000 08 A ou 0,08 mA, ce qui est nettement sous le seuil de la perception.

La résistance du corps humain varie de 750 à 5 000 ohms. Si la personne porte des bottines isolantes, la résistance de son corps peut s'élever à plusieurs millions d'ohms. Donc, selon la résistance du corps de la personne et de son équipement de protection individuelle, le courant qui traversera son corps sera plus ou moins intense.

Que faire ?

Si la victime d'une électrisation ne peut lâcher prise, la première chose à faire est de repérer le sectionneur ou l'interrupteur du circuit électrique et couper le courant. **Il ne faut jamais toucher à la victime.**
Si on ne peut repérer rapidement la source d'alimentation électrique, on peut tenter de dégager la victime à l'aide d'un objet isolé ou non conducteur (par exemple, un bâton de bois ou de plastique).
Dans tous les cas d'électrisation, la victime doit être transportée immédiatement à l'hôpital.



B. Facteurs qui influencent les effets de l'électrisation

- **L'intensité du courant**

  L'intensité du courant au moment de l'électrisation est sans aucun doute le facteur susceptible d'avoir le plus de conséquences.

  L'intensité du courant dépend de la résistance et de la différence de potentiel. Pour une même tension électrique, plus la résistance est faible et plus l'intensité du courant sera élevée.

  Certains facteurs influencent la résistance au point de contact :

  - la moiteur des mains : la résistance offerte par la main varie de 500 ohms quand elle est mouillée jusqu'à 1000 ohms lorsqu'elle est sèche,
  - la conductibilité du sol,
  - la nature, l'état et le degré d'humidité des vêtements, des chaussures et des gants.

- **La nature du contact**

  La gravité des blessures dépend également de la surface de contact et de la pression exercée sur le conducteur.

- **La durée de passage du courant dans le corps**

  Plus le courant circule longtemps dans le corps, plus les dommages peuvent être graves.

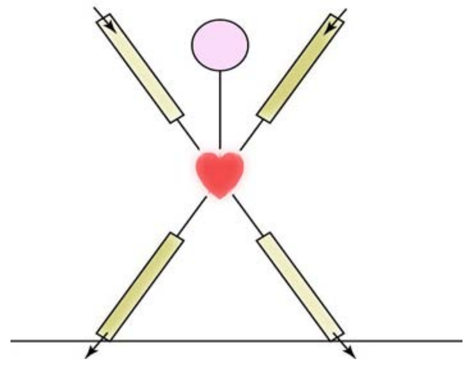
  Par exemple, le risque d'asphyxie, de brûlure et la fibrillation cardiaque augmentent avec la durée de l'électrisation. Cela est particulièrement vrai lorsque le phénomène de contraction musculaire se manifeste et que la victime ne peut lâcher prise. La durée de l'électrisation est alors critique et la gravité des blessures peut en dépendre.

- **Le trajet du courant dans le corps**

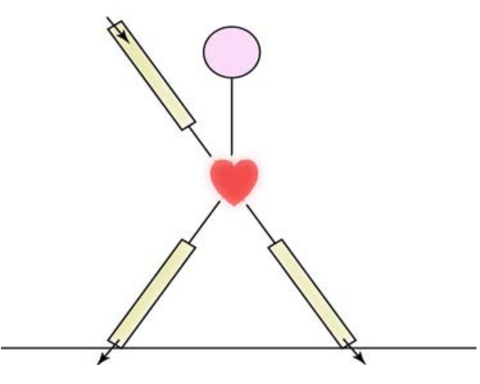
  Le courant circule toujours là où il y a le moins de résistance. Lorsque le courant circule dans le corps, il tend généralement à passer par les veines et les artères, qui offrent moins de résistance que les muscles ou les os. Si le courant traverse le cœur, les conséquences peuvent être tragiques.

  C'est la peau qui offre la plus grande barrière au passage du courant. La résistance interne du corps humain est d'environ 300 ohms (Ω).

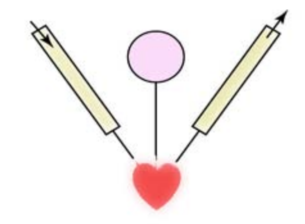
  La résistance dépend également du trajet qu'emprunte le courant dans le corps humain.



Des deux mains aux deux pieds
R = 500 Ω



D'une main aux deux pieds
R = 750 Ω



D'une main à l'autre
R = 1 000 Ω

Figure 4.5 :
Résistance totale du corps humain selon le trajet emprunté par le courant (en ohms)

A. Règles de sécurité

- **Éviter tout contact avec des bobines de fil sous tension**
  Dans le procédé de soudage automatique ou semi-automatique, il faut se rappeler que la bobine de fil est sous tension dès que l'arc électrique est amorcé.

  Les dévidoirs et les autres types d'équipement servant au déroulement du fil peuvent être sous tension même si l'arc n'est pas encore amorcé ou si le fil ne se déroule pas. L'opérateur est alors exposé à une pleine tension à vide (en général 80 ou 100 volts) de la source de courant.
  Les risques sont réduits si le travailleur ne peut pas entrer en contact avec les éléments sous tension.

- **Précautions à prendre dans le cas des torches refroidies à l'eau**
  Quand on utilise des torches refroidies à l'eau, il faut inspecter attentivement la torche et l'équipement de soudage afin de déceler les fuites d'eau.
  Il faut également porter une attention particulière à la condensation provenant des conduites souples d'eau froide.

- **Ne jamais enrouler un câble de soudage autour du corps**
  Il ne faut jamais se passer un câble de soudage autour de la taille, car si l'isolation du câble est endommagée, il y a un risque d'électrisation en plus du risque de chute.

- **Remplacement des électrodes**
  Dans le procédé de soudage à l'électrode enrobée, il faut s'assurer que l'électrode n'est plus sous tension avant de la retirer du porte-électrode ou porter des équipements de protection individuelle adaptés.

- **Mettre l'équipement hors tension**
  Si l'équipement n'est pas utilisé, il faut le mettre hors tension pour éviter tout risque de choc électrique.

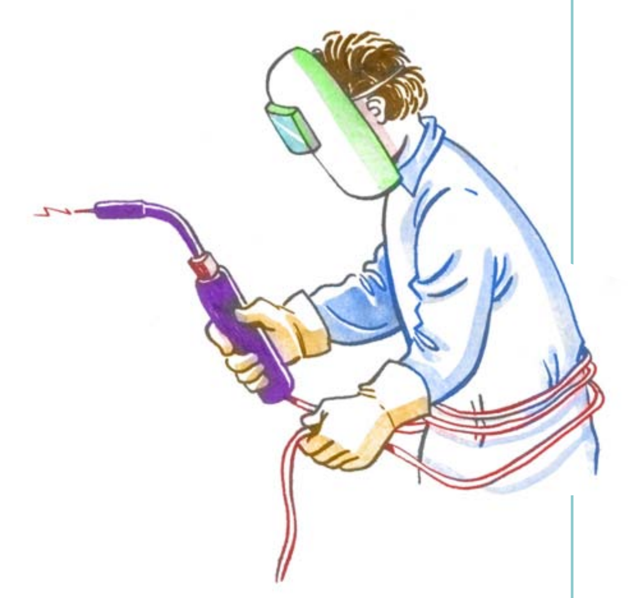


Figure 4.6 :
Situation dangereuse

B. Protection individuelle

- **Porter de bons vêtements, des gants, etc.**
  Le port de gants de cuir à manchettes, d'un tablier de soudeur, de chaussures et d'un masque de soudeur isolants augmentera la résistance aux points de contact et réduira les risques de décharge électrique.

- **Utiliser un support isolant**
  Il est préférable d'utiliser un support isolant où le soudeur déposera le porte électrode en toute sécurité. Le soudeur doit à tout prix éviter de déposer le porte électrode sur une surface métallique qui risquerait alors d'être mise sous tension et entraînerait l'électrisation d'une personne en contact.

- **Porter des vêtements secs**
  Le soudeur ou l'opérateur qui porte des vêtements humides ou dont la peau est mouillée doit éviter d'entrer en contact avec une pièce métallique sous tension, car l'humidité augmente le risque de décharge électrique.

  Il est important de s'assurer que les vêtements et les gants du soudeur soient bien secs.

- **Utiliser un tapis isolant**
  L'utilisation d'un tapis isolant réduit le risque de décharge électrique lorsque le soudeur doit travailler en contact avec des surfaces ou une structure métalliques, par exemple à l'intérieur d'un réservoir.

  Le tapis peut également servir dans les espaces restreints pour éviter tout contact avec la surface conductrice.

C. Précautions à prendre pour le câblage

- **Fixer adéquatement le câble de retour**
  En soudage à l'arc électrique, le courant passe du générateur de soudage au porte-électrode par un câble électrique. Le courant de soudage est transféré à la pièce à souder par l'arc électrique et revient vers le poste de soudage par le câble de retour.

  La surface de branchement du câble de retour doit être propre et la pince du câble de retour doit être solidement fixée, car certaines substances comme la graisse ou la peinture peuvent réduire la qualité du contact électrique.

- **Limiter le risque de courants vagabonds**
  La fixation du câble de retour doit se faire au plus prés de la zone soudée. En effet, si le câble de retour n'est pas installé directement à la pièce ou à la table, le courant pourrait revenir par un autre chemin, notamment en passant à travers le corps du soudeur.

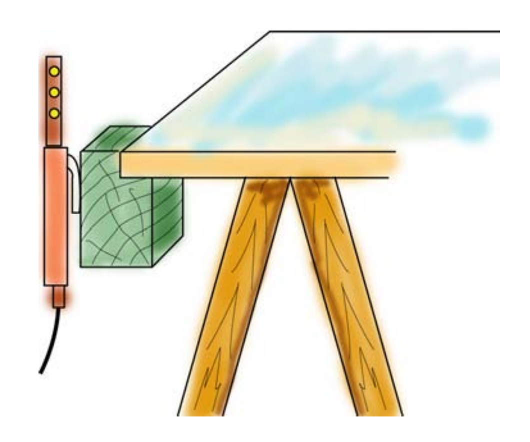


Figure 4.7 :
Support isolant pour porte électrode

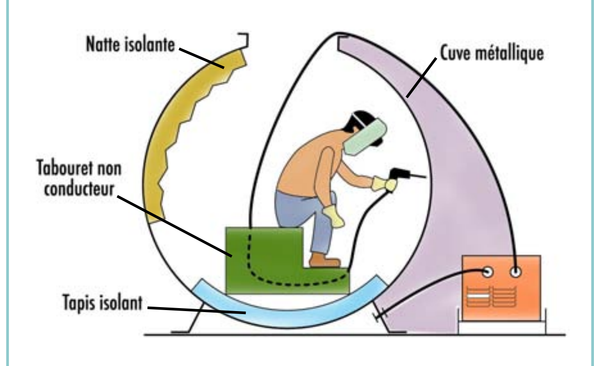


Figure 4.8 :
Plancher et tapis isolants pour protéger le soudeur des éléments mis à la terre

- **Mise à la terre de la pièce soudée si nécessaire**
  Il ne faut pas confondre le câble de retour avec un câble de mise à la terre. Le câble de retour sert à fermer la boucle du circuit de soudage alors qu'une mise à la terre sert à établir la continuité des masses entre la pièce soudée et le réseau de mise à la terre du bâtiment et de l'installation électrique. Lorsqu'il n'est pas possible d'assurer l'isolement complet du circuit de soudage, la mise à la terre de ce circuit doit être réalisée en un seul point, soit au niveau de la pièce soudée, soit au niveau de la table. En cas de mise à la terre de la pièce soudée et de mauvais contact ou déconnexion du câble de retour, le courant peut revenir à la source par la mise à la terre et endommager le générateur.

- **Liaisons équipotentielles des pièces métalliques**
  Les pièces métalliques situées dans le voisinage immédiat de la pièce à souder (plaque, bloc, pièce, ou desserte métallique...) doivent être reliées au câble de retour par un conducteur de section équivalente.

- **À éviter**
  Il ne faut jamais laisser le courant de retour passer par :
  - les conduites et les canalisations servant au transport du gaz ou des liquides inflammables,
  - les bouteilles de gaz comprimé,
  - les grues, l'équipement de levage, les chaînes, les câbles d'acier, les cages d'ascenseurs ou de monte-charges,
  - les joints filetés, les brides, les assemblages boulonnés ou mastiqués (leur résistance est trop forte).

- **Utiliser correctement les câbles d'alimentation**
  Disposer les câbles électriques de façon à éviter que l'équipement mobile, chariots élévateurs ou autres, ne les endommage. Une goulotte de protection placée au-dessus des câbles les protégera des équipements devant circuler dans cette région.
  Éviter d'entreposer du matériel sur les câbles électriques.
  S'assurer du bon état de la gaine isolante des câbles électriques. Les gaines déchirées par frottement ou par échauffement peuvent accroître le risque de décharge électrique. Changer les câbles en mauvais état.
  Ne pas déplacer l'équipement de soudage en tirant sur le câble d'alimentation. Toujours utiliser le bras de maniement du poste de soudage.
  S'assurer que le générateur de soudage est connecté à une prise munie d'un conducteur de protection.
  Utiliser des câbles d'alimentation et des câbles de retour de section adaptée. Le choix doit se faire en fonction du courant de soudage et du facteur de marche. Le tableau 4.1 donne des valeurs indicatives pour les câbles de soudage.

Tableau 4.1 : Calibre des conducteurs de soudage à l'arc selon HD 516 S2

Section nominale du conducteur en cuivre (en mm²)	Courant assigné (en Ampères) en fonction des facteurs de marche spécifiés						
	100 %	85 %	80 %	60 %	35 %	20 %	8 %
10	100	101	102	106	119	143	206
16	135	138	140	148	173	212	314
25	180	186	189	204	244	305	460
35	225	235	239	260	317	400	608
50	285	299	305	336	415	529	811
70	355	375	383	426	531	682	1 053
95	430	456	467	523	658	850	1 319
120	500	532	545	613	776	1 006	1 565
150	580	619	634	716	911	1 184	1 845
185	665	711	729	826	1 054	1 374	2 145

Tableau 4.2 : Exigences dimensionnelles pour porte-électrodes

Courant assigné du porte-électrode au facteur de marche de 60 % (en A)	Plage minimale de fixation des électrodes diamètre de l'âme (en mm)	Plage minimale de section des câbles de soudage (en mm²)
125	1,6 à 2,5	10 à 16
150	2 à 3,2	16 à 25
200	2,5 à 4	25 à 35
250	3,2 à 5	35 à 50
300	4 à 6,3	50 à 70
400	5 à 8	70 à 95
500	6,3 à 10	95 à 120
Note : Lorsque le porte-électrode est destiné à être utilisé au facteur de marche de 35 %, le courant peut être pris égal à la valeur assignée immédiatement plus élevée, où la valeur maximale de courant s'élève à 600 A.		

Facteur de marché (*DUTY CYCLE*)

Selon CEI 60974-1

En soudage à l'arc, le facteur de marche désigne la durée maximale ininterrompue réelle de l'arc par tranche de 10 minutes.

On exprime le facteur de marche en pourcentage. Par exemple, dans le cas d'un courant nominal (circuit secondaire) de soudage de 300 A, un facteur de marche de 60 % indique que, sur une durée de 10 minutes, le courant de 300 A circule réellement pendant 6 minutes, les 4 autres minutes constituant le temps de repos. On doit donc tenir compte du facteur de marche dans le choix du calibre du câble pour éviter la surchauffe et la détérioration du câble.

D. Précautions à prendre avec les connexions électriques

- **Effectuer correctement le branchement**

  Avant d'entreprendre des travaux de soudage, il est très important de vérifier tous les branchements électriques.
  Avant le branchement ou le débranchement du câble d'alimentation, il faut toujours mettre le circuit hors tension, c'est-à-dire placer l'interrupteur du sectionneur à la position « ARRET » (« OFF ») afin qu'aucun courant ne circule et que la tension soit nulle. Quand l'interrupteur est à la position « MARCHE » (« ON »), le circuit est sous tension.

- **Effectuer une mise à la terre correcte**

  Mise à la terre du poste de soudage
  Lorsque le générateur de soudage est défectueux et qu'il y a un défaut d'isolation des éléments sous tension, les pièces métalliques de l'appareil (l'enveloppe métallique entre autres) pourraient être soumises à un potentiel électrique. Si tel est le cas, un courant circule à travers la mise à la terre. Il s'agit alors d'un courant de fuite. Si la mise à la terre est correcte (résistance électrique presque nulle), le courant de fuite provoque le déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités (fusibles et disjoncteurs).
  Le générateur de soudage doit donc être mis à la terre correctement par l'intermédiaire d'une prise de courant homologuée. Ainsi le branchement de la prise du poste de soudage assure aussi la liaison de la mise à la terre de l'équipement.

  En atelier, la mise à la terre se fait pour toute l'installation électrique du bâtiment. Par contre, pour les postes de soudage de chantier, qui ne disposent pas d'un réseau d'alimentation électrique mis à la terre, la mise à la terre doit être effectuée par une prise de terre artificielle; celle-ci est généralement réalisée au moyen d'une tige de cuivre plantée dans le sol.

Mise à la terre de la pièce à souder
La pièce à souder doit avoir une mise à la terre distincte de la mise à la terre du poste de soudage. Toutefois, dans tous les cas, il est préférable de consulter le manuel d'instructions ou de communiquer directement avec le fournisseur de l'équipement pour connaître les exigences relatives à la mise à la terre de la pièce à souder. Le besoin peut varier selon les divers modèles de postes de soudage.

Procédés laser
Les machines laser utilisent un haut voltage pour générer le faisceau de lumière à haute intensité. Avant de procéder à toute opération d'entretien ou de réparation sur une source d'alimentation à haute tension, on doit s'assurer, à l'aide d'une perche de mise à la terre, que tous les éléments de l'appareil sont complètement déchargés. On laissera la perche raccordée à la borne haute tension pour toute la durée des travaux. Toute réparation doit être effectuée par une personne qualifiée.

Utiliser des connecteurs appropriés
Quand l'on doit ajouter des rallonges aux câbles de soudage, il est préférable d'utiliser des connecteurs isolés définit dans la norme CEI 60974-12. Le mieux est d'utiliser des câbles souples et de limiter le nombre de connecteur. Les connecteurs isolés facilitent l'enlèvement des sections de câbles qui ne sont plus nécessaires. Des connecteurs en bon état et correctement assemblés réduisent les risques d'échauffement et les risques de production d'étincelles.



Figure 4.9 :
Connecteurs isolés, fiches mâle et femelle

E. Autres précautions

- **Vérifier les risques liés au port d'un stimulateur cardiaque**
  Un porteur de prothèse électronique peut être particulièrement sensible à une décharge électrique, même de faible intensité. C'est pourquoi les gens qui portent un stimulateur cardiaque (pacemaker) ou une autre prothèse électronique vitale devraient s'adresser à leur médecin ou au fabricant de la prothèse afin de vérifier les risques auxquels ils s'exposent.

- **Tension à vide**
  Pour diminuer les risques d'électrisation, on a réglementé la tension à vide pour certains procédés. Ces procédés sont le MIG/MAG, le FCAW, le MMA et le TIG. Dans le cas du procédé de soudage - coupage au plasma, les niveaux de tension à vide peuvent être jusqu'à 10 fois plus élevés que les niveaux requis pour le soudage à l'arc.
  La tension à vide ou tension en circuit ouvert est la tension mesurée au porte-électrode avant l'amorce de l'arc électrique, c'est-à-dire au moment où il n'y a pas de courant en circulation dans l'appareil.
  La norme CEI 60974-1 limite la tension à vide des postes de soudage à l'arc à 80 V efficace en courant alternatif ou 113 V en courant continu. Cette tension nécessaire pour amorcer l'arc est réduite entre 12 et 40 V une fois l'arc amorcé.
  La valeur maximale de tension à vide pour les générateurs de coupage au plasma est de 500 V.

Chapitre 5

Les risques pour la peau et les yeux



Les principaux risques pour la peau et les yeux proviennent de l'émission de rayonnements et de particules, de la projection d'étincelles et du maniement de l'électrode. On traitera séparément de ces risques, en accordant une place prépondérante aux rayonnements en raison de la complexité du phénomène et de la gravité des risques.

A. Exposition aux rayonnements

La Commission européenne a publié la directive 2006/25/CE qui couvre l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques. Cette directive est applicable en France au plus tard le 27 avril 2010.

- **Rayonnements émis**

  Dans les procédés de soudage et de coupage, la fusion du métal nécessite une importante concentration d'énergie dont une partie se dissipe sous forme de rayonnements. Les rayonnements sont caractérisés par leur longueur d'onde. La panoplie de ces rayonnements compose ce qu'on appelle le spectre électromagnétique.

  Les procédés à l'arc électrique produisent surtout les trois types de rayonnements suivants: infrarouges (IR), visibles et ultraviolets (UV).

  Dans le cas des procédés laser, les rayonnements sont plus intenses en raison de la densité de puissance du rayon émis et de la concentration du faisceau de lumière produit par l'appareil qui permet de fusionner le métal.

- **Procédés concernés**

  Les types de rayonnements émis et leur intensité dépendent du procédé de soudage - coupage, de l'énergie et du métal utilisés. Les rayonnements ultraviolets (UV) et infrarouges (IR) peuvent tout particulièrement se réfléchir lors du soudage sur l'aluminium et l'acier inoxydable avec les procédés TIG et MIG/MAG.
  Le procédé à l'arc électrique qui présente le moins de danger pour les yeux est le procédé à l'arc submergé (SAW). Toutefois si l'arc devient visible pendant les moments où il ne reste plus de flux, il est préférable de ne pas le regarder. Le port de lunettes de sécurité est habituellement suffisant pour s'en protéger.

- **Coup d'arc (éblouissement du soudeur ou « flash »)**

  Une exposition de quelques secondes suffit pour provoquer un coup d'arc. Le coup d'arc (ou « flash » du soudeur) est une lésion photochimique de la cornée (photokératite) due aux radiations ultraviolettes et à la partie bleue de la lumière visible (400 à 550 nanomètres). Ce type de lésion peut aussi atteindre la conjonctive de l'œil (blanc de l'œil); il n'est donc pas nécessaire de regarder directement l'arc pour être atteint.
  Les symptômes peuvent apparaître de 6 à 12 heures après l'exposition. L'œil est très sensible à la lumière et la victime éprouve la sensation d'avoir du sable dans les yeux. Cette lésion guérit spontanément dans les 24 à 48 heures. Le bandage des yeux soulage la personne en atténuant les symptômes. Selon le type de procédé et l'intensité du courant, il est possible d'être atteint jusqu'à une distance de 25 mètres.

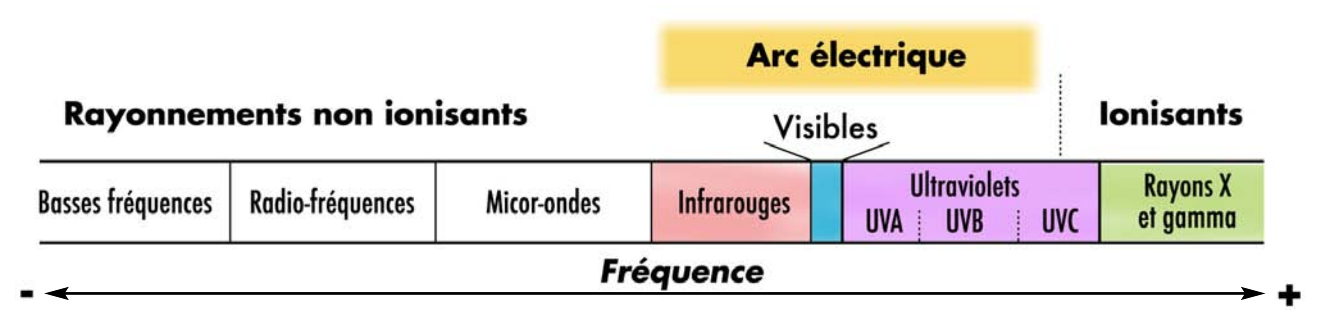


Figure 5.1 :
Spectre électromagnétique des rayonnements



- **Brûlures et autres effets des rayonnements**

  La gravité des effets sur la santé croît avec la durée et l'intensité du rayonnement. Dans le cas des brûlures par rayonnement, l'effet majeur est dû à la hausse de température créée au sein des cellules atteintes. Dans un premier temps, un rougissement de la peau survient, tel un coup de soleil.

  Dans certains cas, la température augmente tellement qu'elle vaporise l'eau située dans les cellules de la peau ou des yeux, ce qui provoque une augmentation de la pression et l'éclatement des cellules : c'est la brûlure.

  Les rayonnements peuvent également avoir d'autres effets. Par exemple, les rayons UV provoquent une augmentation de la pigmentation de la peau (bronzage).

  L'exposition répétée aux rayons infrarouges sur de longues périodes peut provoquer l'opacification du cristallin de l'œil (cataracte).
  On connaît bien les effets cancérigènes des rayons UV sur la peau (les UVB seraient la cause première du cancer de la peau), mais ces effets sont peu documentés chez les soudeurs.

- **Rayons X et gamma**

  Ce type de rayonnement peut endommager le matériel génétique des cellules vivantes et provoquer des mutations et des cancers. On ne retrouve pas ces types de rayons directement dans les procédés de soudage courants ; cependant, le soudage par faisceau d'électrons peut en émettre.

  Les rayons X sont utilisés habituellement pour le contrôle de la qualité des alliages légers coulés et des soudures d'acier et d'aluminium. Le contrôle par rayons gamma dont la source est l'iridium 192 est utilisé pour les moulages métalliques, les pièces forgées et les soudures ne dépassant pas 6 cm d'épaisseur. Par contre, les rayons gamma provenant du cobalt 60 permettent d'inspecter des soudures d'une épaisseur variant de 6 à 19 cm d'épaisseur.
  Les rayons X ne sont présents que lorsque l'appareil est en fonction, alors que les rayons gamma sont émis par des substances radioactives qui doivent demeurer confinées dans un conteneur blindé en tout temps.

  Lors du réglage d'un appareil laser, les couvercles étant enlevés et la source d'alimentation du laser connectée, il peut y avoir émission de rayons X.

Tableau 5.1 : Types de rayonnement et principaux effets associés

Rayonnements	Provenance et caractéristiques	Principaux effets sur la peau	Principaux effets sur les yeux
Rayons ultraviolets	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Augmentent fortement avec l'intensité de courant. Les rayons UV se subdivisent en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) et UVC (100-280 nm). Extrêmement intenses dans les procédés plasma et laser. Le verre filtre en grande partie les UVB mais très peu les UVA.	• augmentation de la pigmentation de la peau (bronzage), • rougeurs (coup de soleil), • vieillissement accéléré et cancer (à long terme).	• causent le coup d'arc, • cataracte (effets cumulatifs).
Rayons visibles	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Longueur d'onde de 400 à 770 nm.		Eblouissement, fatigue visuelle et maux de tête.
Rayons infrarouges	Proviennent surtout du métal en fusion en raison du dégagement de chaleur. Longueurs d'onde de 770 à 1 000 nm. Les infrarouges traversent le verre.	Affectent la peau et provoquent des brûlures.	• larmoiements, maux de tête, • brûlures de la rétine et de la cornée, • cataracte (effets cumulatifs).



Verres de contact

Le port de verres de contact ne présente pas de risque particulier pour les soudeurs, sauf dans le cas de l'utilisation de certains produits chimiques.

B. Brûlures

Le soudage et le coupage occasionnent la formation d'étincelles et de gouttelettes de métal en fusion qui peuvent atteindre des températures de quelques milliers de degrés. Ces étincelles et le métal en fusion peuvent provoquer des incendies mais aussi atteindre la peau non protégée et la brûler.

Les pièces fraîchement soudées sont très chaudes et peuvent brûler la peau par contact ou provoquer chez le soudeur des gestes brusques qui peuvent être dangereux.

C. Piqûres

Dans le procédé TIG, le soudeur utilise une électrode de tungstène très pointue qui présente un grand risque de piqûre. Ce genre d'accident survient généralement lorsque le travailleur porte le faisceau de la torche sur son épaule, ce qui est fortement déconseillé.

Si la torche lui échappe, elle balance comme un pendule et peut heurter le travailleur aux jambes. Une autre partie du corps souvent atteinte par les piqûres est la main.

Si la blessure n'est pas soignée correctement, des problèmes d'infection peuvent survenir.

D. Projection de particules

De nombreuses blessures, pour la plupart mineures, sont attribuables à des particules projetées à haute vitesse vers les travailleurs. Les blessures surviennent principalement au visage et aux yeux, le reste du corps étant protégé par les vêtements.

Le soudeur est exposé quotidiennement à ce genre de risque. Lorsqu'il brise le laitier solidifié sur une soudure avec un outil pneumatique à impact ou un marteau, des particules sont projetées dans toutes les directions. Le travail de préparation et de finition est également générateur de particules ; en effet, le meulage est une étape importante du travail du soudeur.

L'utilisation de meuleuses portatives est très fréquente. Ces meuleuses tournent à haute vitesse et arrachent, par un effet abrasif, des particules de métal sur les pièces meulées en plus de projeter des particules de la meule elle-même.

Ces particules très chaudes sont projetées à haute vitesse sur une grande distance et peuvent emprunter différentes trajectoires en déviant violemment sur des obstacles.



A. Protection contre les rayonnements

On peut se protéger des rayonnements infrarouges, visibles et ultraviolets en observant les règles de sécurité minimales suivantes :

- porter un masque ou des lunettes, selon le cas, équipés d'un filtre adéquat. Les équipements de protection oculaire et faciale doivent être choisis conformément à la norme **NF EN 175** « Protection individuelle — Equipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes »,
- porter des vêtements à manches longues. Les vêtements de protection font l'objet de la norme **NF EN 470-1** « Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techniques connexes — Partie 1 : Exigences générales »,
- fermer le dernier bouton de la chemise afin de réduire l'exposition de la peau aux rayonnements,
- rabattre un tissu sur le cou, à partir du casque de soudeur, pour le protéger des rayonnements (très utilisé lors du soudage sur l'aluminium, l'acier inoxydable ou tout autre métal très réfléchissant),
- éviter les vêtements synthétiques, car ils peuvent laisser passer les rayons ultraviolets,
- protéger les travailleurs avoisinants à l'aide d'écrans appropriés au procédé et au voltage utilisés.

- **Masque serre-tête**

  Le masque serre-tête, qui est le plus fréquemment utilisé, doit posséder des verres filtrants de teinte appropriée au procédé (voir tableau 5.2). Sur ce type de masque, on peut changer le verre filtrant selon les besoins.

- **Masque à main**

  Ce masque est semblable au masque serre-tête, sauf qu'il nécessite l'utilisation d'une main, car il n'est pas supporté par la tête. Ce genre de masque est surtout utilisé par les observateurs, ou le soudeur dans le cas de travaux de courte durée.

- **Lunettes de protection**

  En l'absence de rayons ultraviolets (procédés oxygaz par exemple) ou lorsqu'on est loin de l'arc (table de plasma automatisée par exemple), on peut porter des lunettes de protection équipées d'un filtre adéquat.

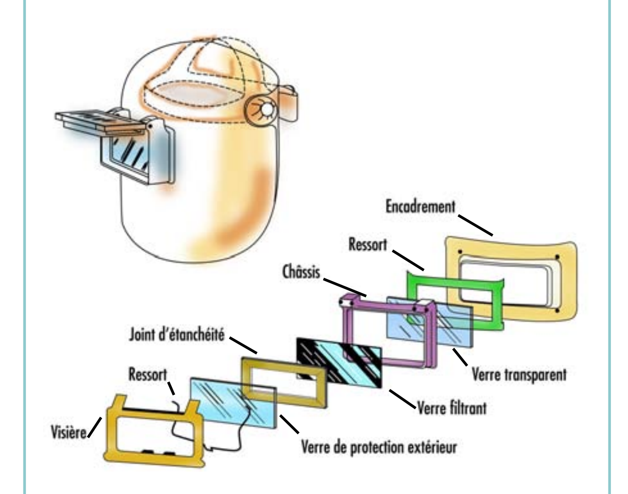


Figure 5.2 :
Masque serre-tête avec écran filtrant amovible

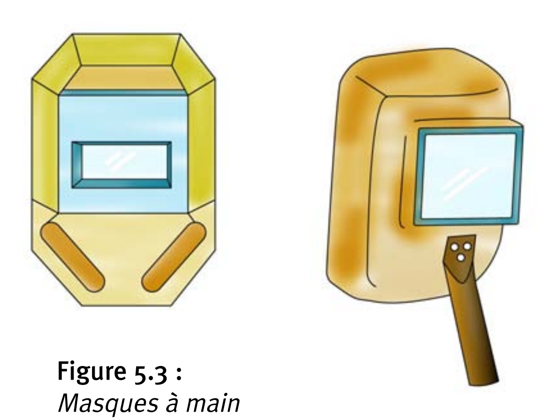


Figure 5.3 :
Masques à main

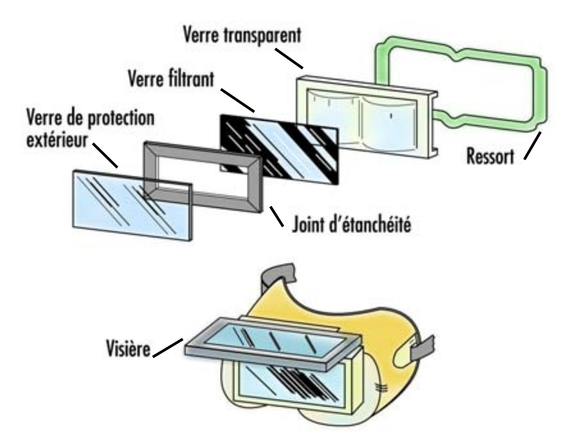


Figure 5.4 :
Lunettes de protection avec filtre

- **Masque électronique**

Le masque électronique est muni d'un filtre photosensible ayant la propriété de changer son degré d'obscurcissement lorsque l'arc de soudage est amorcé. La visière renferme des cristaux liquides qui changent de phase et s'obscurcissent lorsqu'ils sont stimulés par l'intensité de l'arc.
Ces équipements sont définis dans la norme **NF EN 379** « Protection individuelle de l'œil – Filtres de soudage automatique. »

Avantages

Le soudeur peut ainsi conserver le masque en position abaissée lors du positionnement précédant la soudure, car il voit très bien à travers la visière non obscurcie. De cette façon, il évite les mouvements répétés de la tête pour abaisser le masque, car la visière se noircit en moins de 1/100e de seconde (la rapidité peut aller jusqu'à 1/25 000e de seconde).

Ce masque est particulièrement recommandé pour des travaux d'assemblage ou de prémontage de structure.

Niveaux de protection

Lorsque le masque est hors tension (interrupteur désactivé ou piles à plat), il offre une protection de base équivalente au filtre de numéro 8 (voir tableau 5.2) ; il filtre ainsi une bonne partie des rayonnements ultraviolets et infrarouges.

Lorsqu'on le met sous tension, la protection s'ajuste à un niveau de filtre 4 et assure ainsi une très bonne visibilité du lieu de travail et des pièces à souder.

Lorsque l'arc est amorcé, en moins de 1/100e de seconde, le filtre s'obscurcit à un degré de protection variant de 9 à 13 selon le modèle ou l'ajustement.

Ces niveaux se retrouvent sur le marquage requis par la norme **NF EN 379**, selon le mode de désignation suivant :

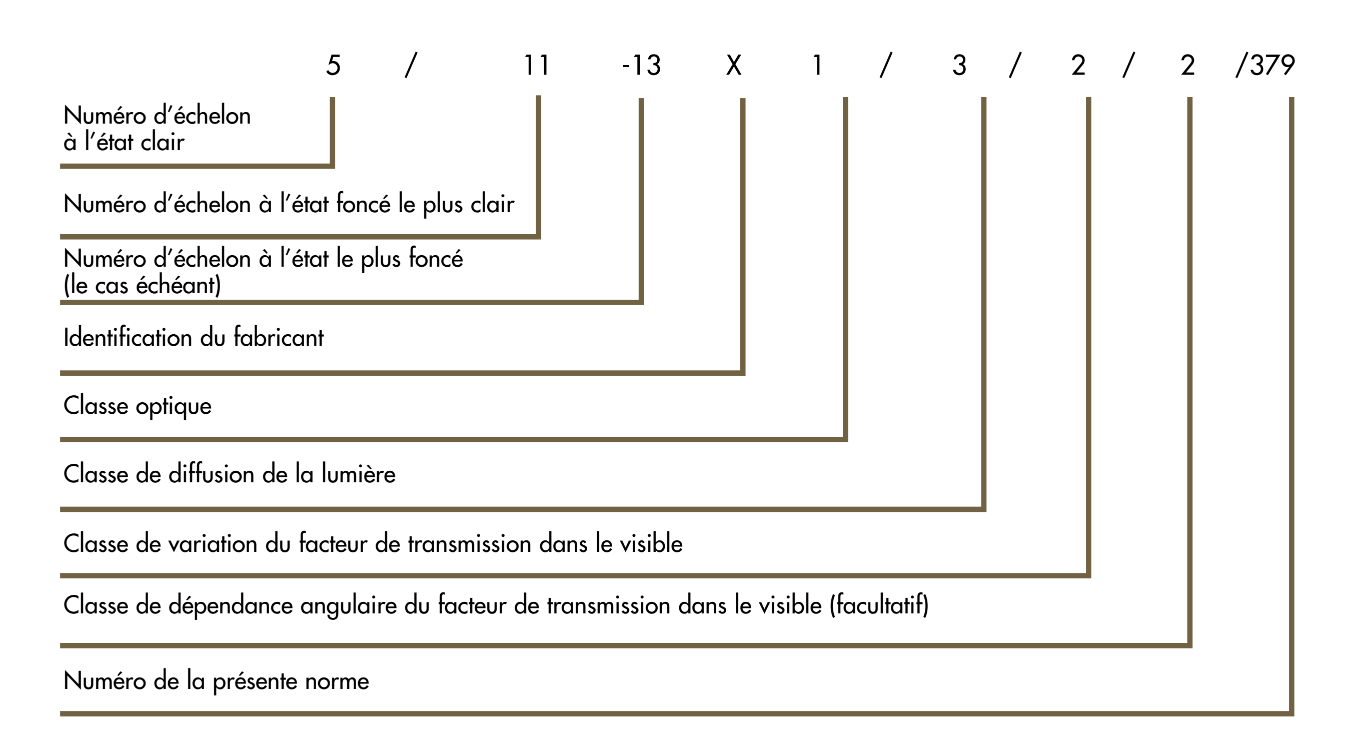


Figure 5.5 :
Masque électronique – Niveaux de protection

Conditions d'utilisation
L'exposition au froid (température inférieure à 10 ° C) réduit l'efficacité du filtre.

Il offre une protection insuffisante dans le cas du procédé MIG fonctionnant avec un courant d'arc supérieur à 500 A (sensation d'éblouissement et d'inconfort).

Il existe deux types de masques : à piles et à énergie solaire. Dans le premier cas, il faut remplacer les piles toutes les 200 ou 500 heures selon le modèle. Dans le second, il faut s'assurer que l'endroit est assez éclairé pour que le masque soit fonctionnel.

La distance maximale pour avoir une bonne protection est de 60 cm. Les visiteurs ou les autres travailleurs ne devraient pas utiliser ce genre de masque.

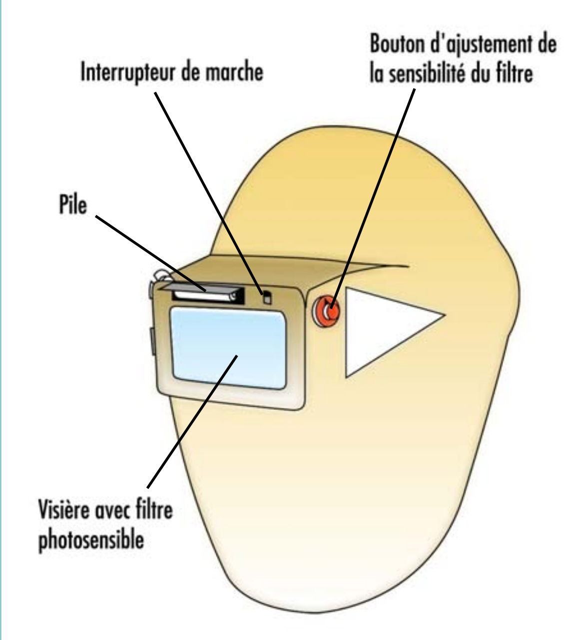
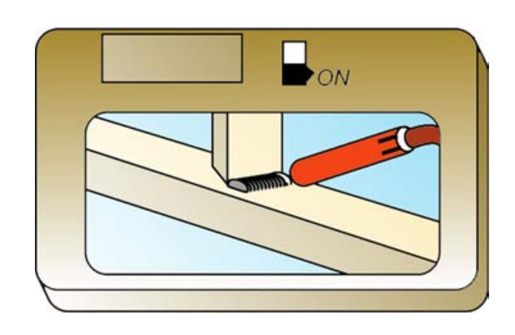
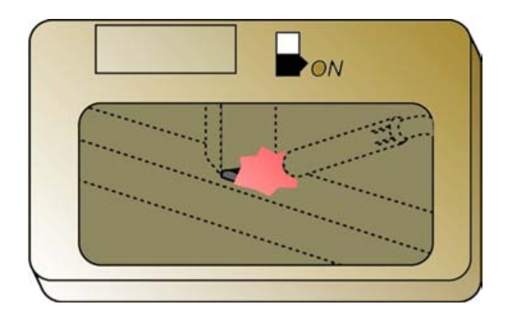


Figure 5.6 :
Masque électronique



a) Avant l'arc, l'écran permet une bonne visibilité (filtre numéro 4)



b) A l'amorce de l'arc, l'écran s'obscurcit et la protection est en place (filtre 9 à 13)

Figure 5.7 :
Visière avec filtre photosensible

- ## Choix du numéro de teinte

Le choix de la teinte des protecteurs oculaires se fait en fonction du procédé de soudage, de l'épaisseur du métal ou encore de l'intensité du courant de l'arc. Plus le chiffre est élevé, plus le degré de filtration l'est aussi.

Se référer aux numéros de teinte prescrits dans la norme **NF EN 169** « Protection individuelle de l'œil — Filtres pour le soudage et les techniques connexes — Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée. »

Cette norme comprend le tableau 5.2 repris ci-dessous :

Tableau 5.2 : Choix du verre filtrant

	Intensité du courant A																				
Procédé	1,5	6	10	15	30	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600
Électrodes enrobées				8				9		10		11			12		13			14	
MAG				8				9		10			11			12			13		14
TIG				8			9		10		11			12		13					
MIG sur métaux lourds									9		10			11		12		13	14		
MIG sur alliages légers											10		11		12		13		14		
Gougeage à l'arc avec jet d'air comprimé											10		11	12		13			14	15	
Coupage au jet de plasma										9	10	11	12			13					
Soudage à l'arc par microplasma		4	5		6		7	8		9	10		11			12					
	1,5	6	10	15	20	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600

Note : L'expression "métaux lourds" couvre les aciers, aciés alliés, le cuivre et ses alliages, etc.

- ## Procédés laser

L'exposition au rayonnement laser direct ou réfléchi peut être dommageable pour la vue. La protection individuelle contre le risque oculaire est obligatoire. On se réfèrera aux recommandations du fournisseur de l'équipement en matière de protection de la vue et de la personne. En plus de ces instructions, il est recommandé de se conformer aux mesures de prévention formulées dans la norme **NF EN 60825-1** « Sécurité des appareils à laser – Partie 1 : Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisation. »

Parmi les principales recommandations, on trouve les suivantes :

- installer des écrans de protection approuvés pour la classe de laser à utiliser. On doit s'assurer de protéger correctement l'opérateur de l'équipement laser ainsi que les autres travailleurs à proximité,
- utiliser un protecteur oculaire approuvé pour la classe de laser et le travail à effectuer,
- nommer un responsable de la sécurité des lasers qui doit s'assurer, entre autres, que tous les opérateurs ont reçu la formation nécessaire, connaissent les risques et possèdent les connaissances requises pour utiliser un système de soudage ou de coupage par faisceau laser de façon sure,
- toujours verrouiller l'interrupteur principal de l'équipement laser lorsqu'il est mis hors service,
- interdire l'accès aux personnes non autorisées et verrouiller les portes et les panneaux d'accès des équipements laser et des coffrets ou armoires de commande,
- installer des panneaux d'avertissements et une plaque indicatrice portant les mots : « RAYONNEMENT LASER, EXPOSITION DANGEREUSE DE L'ŒIL OU DE LA PEAU AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS ».



Figure 5.8 :
Symbole de danger du laser (noir sur fond jaune)

- <u>Rayons X et gamma</u>

Les rayons X et gamma employés dans les radiographies industrielles sont du type ionisant et doivent être utilisés selon des règles de sécurité très strictes, formulées dans le décret 86/1103.

Ce décret mentionne certaines précautions concernant les radiographies :

- la zone de danger doit être définie par un radiologue certifié titulaire d'un CAMARI (Certificat d'Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiographie Industrielle) et ce technicien doit avertir les travailleurs qui se trouvent à proximité avant d'utiliser l'appareil de radiographie,
- la zone de danger doit être délimitée par une barrière physique, corde ou autre, et signalée par une affiche interdisant l'accès aux personnes non autorisées,
- un avis portant le pictogramme de la radioactivité ainsi que l'inscription « ATTENTION DANGER » ou « ACCÈS INTERDIT » doit être placé à toutes les entrées et sorties de la zone de danger. Le pictogramme de la radioactivité doit être de couleur rouge pourpre sur fond jaune et de dimension suffisante pour être reconnu à distance.

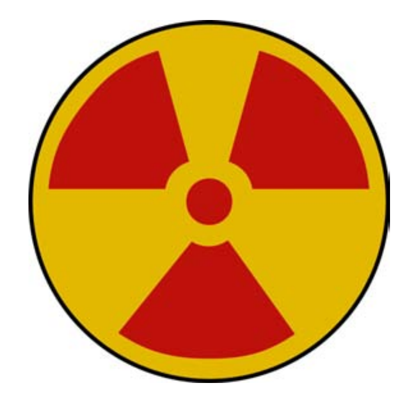


Figure 5.9 :
Pictogramme de la radioactivité (rouge pourpre sur fond jaune)

- **Ecrans : rideaux et lanières**

  Des écrans faits de matériaux incombustibles ou résistants au feu doivent être installés pour protéger contre les coups d'arc ceux qui se trouvent à proximité d'un lieu de soudage. L'écran doit avoir une surface non réfléchissante et doit permettre la circulation de l'air ; on le placera donc à 50 cm du sol et du plafond. L'opacité de l'écran doit convenir au procédé utilisé. Le tableau 5.3 présente les principales caractéristiques des rideaux de protection transparents disponibles sur le marché. Le choix du rideau dépend du procédé utilisé et de son intensité, du métal de base soudé ainsi que du gaz de protection. Ces écrans sont définis dans la norme **NF EN 1598** « Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes - Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc. »

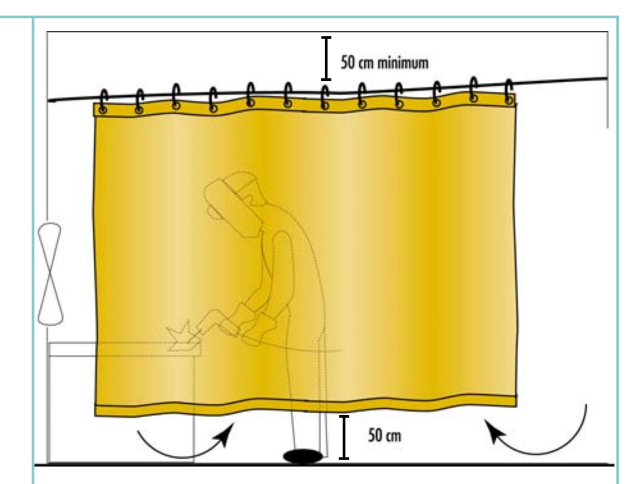


Figure 5.10 :
Rideau de protection transparent

Tableau 5.3 : Principales caractéristiques des rideaux de protection

Teinte du rideau	Visibilité relative	Procédé utilisé (métal de base et gaz de protection) et courant (en ampères)			
	Objet perçu à travers le rideau	Soudage sur acier avec gaz inerte (Ar ou He)	Soudage sur aluminium	Soudage sur acier avec gaz actif (CO_2 et mélange)	SMAW et FCAW
Orange Spectra	69 %	1 300	750	550	450
Gris	56 %	225	125	100	75
Vert	63 %	150	90	70	50
Jaune	100 %	80	50	35	30
Bleu	44 %	40	25	20	15

B. Protection contre les brûlures et les projections

- **Règles minimales**

  On peut se protéger des brûlures et des projections de particules en suivant ces règles de sécurité :
  - porter des gants de cuir adéquats qui montent plus haut que les poignets, sinon utiliser des manchons en cuir qui protègent l'avant-bras,
  - porter des chemises à manches longue,
  - fermer le collet de la chemise jusqu'au cou pour prévenir toute infiltration d'étincelles ou de gouttelettes de métal en fusion,
  - rabattre la partie supérieure des poches pour éviter toute ouverture où des étincelles pourraient se loger,
  - porter des bottes de soudeur avec élastique pour pouvoir les enlever avec rapidité,
  - porter des chaussettes de laine ; la laine est un tissu qui ne brûle pas facilement,
  - porter un tablier ou des guêtres (protègent la partie avant des jambes, du genou à l'avant du pied),
  - éviter tous les vêtements synthétiques ; ceux-ci collent à la peau sous l'effet d'une étincelle ou de gouttelettes de métal en fusion,
  - éviter les pantalons à revers, où pourraient se loger des étincelles. Porter le pantalon par dessus les bottines,
  - porter un couvre-tête résistant au feu sous le casque ou une cape protectrice lors d'un travail exécuté au-dessus de la tête,
  - utiliser des écrans pour confiner la projection d'étincelles, de métal en fusion ainsi que les rayonnements.

- **Lunettes de sécurité**

Il faut toujours porter des lunettes de sécurité avec protection latérale sous le masque de soudeur pour être protégé contre les projections de particules.

Protection des autres travailleurs

Les autres travailleurs, à proximité d'opérations de soudage, peuvent être victimes d'un coup d'arc, soit en regardant directement l'arc par inadvertance, soit en y étant exposés par la lumière réfléchie.

Pour ces raisons, on devrait appliquer les règles de sécurité suivantes :

- porter des lunettes de protection adéquates lors de travaux dans un rayon de 30 mètres d'opérations de soudage qui ne sont pas protégées par des écrans,
- utiliser des lunettes avec des verres en polycarbonate pour absorber la majeure partie des rayons ultraviolets. Des verres teintés contribuent à réduire les rayonnements visibles et infrarouges,
- si on peut être exposé à la lumière réfléchie de l'arc, porter des lunettes de sécurité avec verres de polycarbonate et écrans latéraux légèrement teintés (filtre de numéro 2),
- pour le personnel assistant aux opérations de soudage, porter des lunettes de sécurité avec verres de polycarbonate et écrans latéraux teintés. Un numéro de teinte entre 3 et 5 est suffisant si on ne regarde jamais l'arc directement ; autrement, il faut utiliser le même numéro de teinte que le masque du soudeur.



Figure 5.11 :
Lunettes de sécurité avec écrans latéraux

- **Bottes**

Une protection métatarsienne est suggérée pour prévenir les blessures causées par la chute d'une pièce métallique sur le dessus du pied.

Pour certains modèles, l'absence de lacet réduit les risques d'introduction de particules de métal en fusion à l'intérieur de la botte ; les élastiques permettent un retrait rapide.



Figure 5.12 :
Bottines de sécurité de soudeur

- **Vêtements**

  Les vêtements doivent protéger contre les étincelles, les projections de métal en fusion et les radiations. La laine est préférable au coton, car elle est moins inflammable. Par contre, elle est plus chaude pour le corps. Le coton offre une bonne protection contre les étincelles de métal chaud.

  Les vêtements des soudeurs doivent être exempts de taches d'huile ou de graisse et ce, en tout temps.

  Le tableau 5.4 présente les principales caractéristiques des tissus utilisés pour les vêtements de protection du soudeur. Les critères de résistance au feu et au métal en fusion sont primordiaux alors que la question de confort doit surtout être étudiée pour les travaux exécutés durant la saison chaude ou dans un environnement de travail où le degré de chaleur peut être élevé.



Figure 5.13 :
Chemise sans poche boutonnée au collet

Tableau 5.4 : Caractéristiques des tissus pour les vêtements de protection

Tissus	Résistance au feu	Résistance au métal en fusion	Confort
Laine	Très bonne	Bonne, le métal en fusion y adhère un peu	Chaud surtout en été
Cuir	Bonne	Bonne	Chaud
Coton	Faible	Bonne	Bon
Coton traité (au Proban)	Très bonne	Bonne	Bon
Vinex	Bonne	Bonne	Plus souple et confortable que le coton
Nomex	Bonne	Faible, le mtal en fusion y adhère et détruit le tissu	

C. Protection contre les piqûres

Pour prévenir les piqûres qui surviennent lors du soudage au procédé TIG, il faut :
- placer la torche de soudage dans un boîtier isolant (non conducteur) lorsqu'elle n'est pas utilisée,
- poser le faisceau sur le sol et non sur l'épaule,
- porter un tablier assez long ou des guêtres,
- porter des gants de cuir.

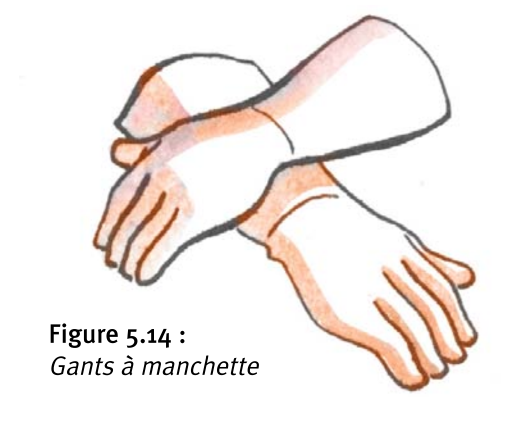


Figure 5.14 :
Gants à manchette



Chapitre 6

Les risques liés à l'exposition au bruit



Plusieurs procédés de soudage et de coupage entraînent des niveaux de bruit susceptibles de causer des dommages auditifs aux travailleurs qui y sont exposés. Il faut ajouter aux sources de bruit présentes dans le milieu les activités connexes comme le meulage, l'ébavurage, le martelage et le burinage.

A. Sources de bruit

Parmi les procédés de soudage et de coupage très bruyants, on retrouve les procédés d'arcair, les procédés au plasma ainsi que les procédés oxygaz. Dans ces procédés, le bruit est souvent produit par le passage sous pression d'un gaz dans les orifices de la torche ou du chalumeau. Plus l'orifice est petit, plus la pression est grande et plus le niveau de bruit sera élevé. L'émission du bruit est due aux turbulences gazeuses en sortie de buse–tuyère. Les activités connexes telles que le meulage ou le martelage sont souvent réalisées sur une table d'acier qui amplifie les bruits d'impact et les vibrations. Le soudage MIG-MAG pulsé peut être une autre source d'émission sonore. Certains types de pulsations peuvent atténuer le niveau sonore.

B. Effets sur la santé

Une exposition quotidienne à des niveaux de bruit élevés peut entraîner une surdité d'origine professionnelle consécutive à des dommages à l'oreille interne. Les risques de dommages auditifs augmentent en fonction du niveau de bruit et de la durée d'exposition, ou en fonction du nombre d'impacts d'intensité élevée. Plusieurs autres effets sur la santé peuvent également être attribuables à une exposition prolongée au bruit : baisse de vigilance et de précision des réponses psychomotrices, irritabilité, anxiété, fatigue accrue et stress, baisse de résistance aux infections, troubles cardiovasculaires, etc.

C. Réglementation

En vue d'assurer la protection de la santé des travailleurs, la directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) impose à l'utilisateur de machines une valeur limite maximale de 87 dB(A) avec protecteurs auriculaires individuels et fixe deux seuils d'exposition de travail à 80 et 85 dB(A). La valeur limite maximale et les seuils d'exposition sont évalués sur une journée standard de 8 heures. Le dépassement des valeurs d'exposition entraîne, pour l'employeur, des obligations telles que le port de protecteurs individuels par les travailleurs, des consultations médicales, etc.
L'employeur a donc pour devoir d'évaluer les niveaux d'exposition sonore auxquels sont soumis les travailleurs. Le code du travail pour la France que cette évaluation se fasse conformément aux prescriptions de la norme NF S 31-084 « Acoustique - Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail ».

D. Niveaux de bruit

Le tableau 6.1 présente les niveaux de bruit typiques engendrés par les différents procédés et quelques activités connexes dans la fabrication de produits en métal et de produits électriques.

Tableau 6.1 : Niveaux de bruit engendrés par certains procédés ou travaux

Procédés ou activités		Niveau de bruit
GTAW	Soudage avec électrode de tungstène	50 à 60 dBA
FCAW	Soudage avec fil fourré	50 à 86 dBA
OFW	Soudage oxygaz	< 70 dBA
SMAW	Soudage avec électrode enrobée	62 à 82 dBA
PAW	Soudage au plasma	80 à 91 dBA
PAC	Coupage au plasma	95 à 110 dBA
AAC	Coupage avec électrode de carbone et jet d'air	96 à 116 dBA
GMAW	Soudage avec fil plein	70 à 82 dBA
	Enlèvement du laitier à la main	75 à 90 dBA
	Grenaillage	80 à 93 dBA
	Façonnage et martelage	92 à 115 dBA

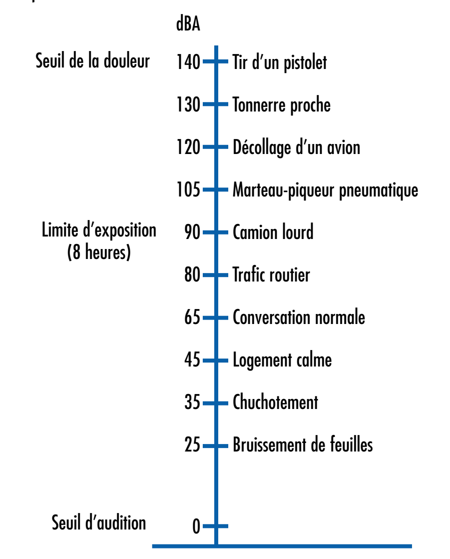


Figure 6.1 :
Niveaux de bruit de diverses sources



Pour réduire le bruit, on peut agir à trois niveaux : sur la source de bruit elle-même, entre la source et l'individu et, enfin, directement sur l'individu.

La réglementation sur la santé et la sécurité du travail préconise d'éliminer à la source même les dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Il faut donc privilégier la réduction du bruit à sa source; si ce n'est pas possible, il faut agir sur la transmission du bruit par l'installation d'enceintes acoustiques, d'écrans ou par le traitement du local.

En dernier recours, on fournit aux travailleurs l'équipement de protection individuelle : coquilles ou bouchons.

Ce sont les deux premiers niveaux d'intervention qui sont le plus efficaces pour réduire définitivement le bruit dans les milieux de travail.

- **Utilisation d'écrans**

  Pour atténuer le bruit de façon efficace, l'écran doit :

  - être aussi haut que possible,
  - être assez long : les côtés de l'écran excèdent la ligne de vue directe d'au moins une fois la hauteur de l'écran,
  - être placé le plus près possible des personnes ou de la source de bruit,
  - être constitué d'un matériau barrière (acier, béton, contreplaqué, etc.) et d'un matériau absorbant (laine de fibre de verre, mousse d'uréthane ou de plastique à cellules ouvertes, etc.),
  - être recouvert d'un matériau absorbant du côté de l'équipement s'il est installé près des équipements ou du côté des travailleurs s'il est placé près des travailleurs (le côté recouvert d'un matériau barrière fait alors face à l'équipement).

A. Techniques de réduction

Certaines techniques de réduction du bruit peuvent s'intégrer facilement à l'aménagement des postes de travail.

Ces techniques sont les suivantes :

- augmenter l'épaisseur de la table de travail pour réduire les vibrations et atténuer la transmission des bruits d'impacts,
- augmenter la distance entre la source de bruit et les autres travailleurs,
- isoler les postes de travail ou les procédés bruyants dans des pièces traitées acoustiquement,
- recouvrir les murs et le plafond d'un matériau absorbant (laine de fibre de verre, panneaux absorbants, mousse acoustique) ; cette solution est particulièrement efficace quand la source de bruit est située près d'un mur ou dans un coin,
- choisir des procédés et des électrodes qui produisent moins de scories nécessitant le meulage ou le martelage,
- installer des écrans insonorisants entre l'équipement bruyant et le travailleur ou entre les différents postes de travail.

B. Etapes

Lorsque plusieurs sources de bruit contribuent au niveau global de bruit dans l'usine, dans un département ou dans un secteur, on obtient une réduction appréciable du bruit d'ensemble en procédant par étapes :

- identifier les sources de bruit par ordre d'importance. Il est recommandé d'utiliser un sonomètre pour évaluer séparément les niveaux de bruit provenant des différentes sources,
- traiter en priorité la source la plus bruyante. Les éléments suivants doivent être pris en considération dans le choix de la solution : la faisabilité technique ; les coûts directs et indirects ; la sécurité des utilisateurs ; les risques d'incendie ; les conséquences éventuelles sur le bon fonctionnement de l'équipement (surchauffe), des opérations, de la production et de l'entretien ; les zones d'accès à l'équipement,
- traiter s'il y a lieu les autres sources de bruit selon l'ordre décroissant de leur contribution au bruit d'ensemble,
- utiliser des procédés ou outillages (torches) à plus faible taux d 'émission.

Chapitre 7

Les risques liés aux contraintes thermiques



L'être humain est homéotherme ; c'est-à-dire que ses organes fonctionnent bien à une température constante d'environ 37,5° Celsius.

Toute activité physique produit de la chaleur; même au repos, la respiration et la circulation sanguine produisent un niveau d'activité minimum qu'on appelle métabolisme basal. Comme le corps humain produit de la chaleur, il doit en perdre autant afin de maintenir sa température stable, sinon celle-ci augmente et il en résulte de la fièvre.

A. Mécanismes d'adaptation

- **Système cardiovasculaire**
  Pour perdre de la chaleur, le corps envoie du sang à la surface de la peau pour effectuer un échange de chaleur avec l'air ambiant ; il en résulte un rougeoiement de la peau.

  On peut noter aussi une augmentation du rythme cardiaque, une diminution de la pression artérielle, une augmentation de l'"épaisseur du sang" consécutive à la déshydratation et une réorientation du flot sanguin qui va des organes (systèmes digestif et urinaire) vers la peau.

- **Déshydratation**
  Le corps dissipe également de la chaleur par la sudation, car la sueur produite par les glandes sudoripares permet un échange de chaleur lors de son évaporation.

  La masse maigre d'un individu est composée à 70 % d'eau. Une partie de cette eau est véhiculée dans le sang. On sait que, lors d'efforts très intenses, un individu peut perdre jusqu'à deux litres d'eau par heure. On imagine facilement les répercussions cardio-vasculaires de la diminution du volume sanguin : augmentation du rythme cardiaque accompagnée d'une baisse de la capacité de l'organisme à produire le même travail et à se défendre contre les effets de la chaleur. En plus de l'eau, la sueur contient aussi différents sels minéraux essentiels, surtout du sodium et du potassium.

  Les effets de la chaleur sur la santé sont généralement progressifs et peuvent aller de simples boutons de chaleur au coup de chaleur ; dans ce dernier cas, les mécanismes d'autorégulation de la température ne réussissent plus à stabiliser la température corporelle et on risque la mort.

B. Effets sur la santé

- **Boutons de chaleur**
  Lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, certains individus présentent une éruption cutanée qui est due à une obstruction des canaux responsables de la sécrétion de la sueur. Cet effet est surtout incommodant et peut nuire au travail.

- **Œdème de chaleur**
  Il s'agit d'enflures aux mains ou aux pieds, conséquence de l'accumulation de sang au niveau de la peau.

- **Fatigue mentale**
  L'ensemble des mécanismes de défense oblige l'organisme à dépenser plus d'énergie pour un travail donné. Le travailleur a chaud, il se sent mal et devient impatient ; son niveau d'attention baisse, donc les erreurs se multiplient et les accidents sont plus fréquents.

- **Crampes de chaleur**
  Ces crampes surviennent après plusieurs semaines d'exposition à la chaleur et sont dues à la perte excessive d'eau et de sels minéraux qui n'ont pu être remplacés suffisamment lors d'une période de sudation.

- **Épuisement à la chaleur**
  L'exposition prolongée à la chaleur peut entraîner des étourdissements, des maux de tête et de la fatigue, qui s'ajoutent aux signes de déshydratation et à la température élevée.

- **Syncope**
  La syncope est un trouble qui peut être lié à l'exposition à la chaleur ; c'est un évanouissement dû à une distribution inadéquate du débit sanguin. Une grande partie du volume sanguin, qui est réduit sous l'effet de la déshydratation, se retrouve au niveau des vaisseaux périphériques (la peau). Cet état, combiné par exemple à une posture debout immobile qui favorise l'accumulation du sang dans les jambes, mène à une baisse de la pression artérielle et à une oxygénation insuffisante du cerveau, qui cause l'évanouissement.

- **Coup de chaleur**
  Si la température corporelle dépasse 40° Celsius, les cellules cérébrales ne peuvent fonctionner normalement et on assiste à un dérèglement du système nerveux central. Le corps peut aussi cesser toute sudation et se mettre à frissonner, ce qui aggrave encore la situation. Avoir la peau sèche et frissonner est donc un signe alarmant qui requière un retrait immédiat du lieu d'exposition, sinon c'est le coma et la mort.

C. Facteurs de risque

Le risque croît avec les facteurs suivants :

- **l'activité physique** : plus celle-ci est exigeante, plus le corps devra dissiper de la chaleur,

- **les vêtements** : les vêtements créent une barrière, une isolation qui nuit à l'échange de chaleur entre la peau et l'air et entrave l'évaporation de la sueur,

- **l'environnement** : un environnement chaud nuit également à l'échange de chaleur entre la peau et l'air. Parmi les facteurs à considérer, on note la température ambiante (température de l'air), le taux d'humidité (un taux d'humidité élevé limite l'efficacité de la sudation) et la chaleur radiante.

Normalement, lorsqu'un travailleur est exposé à une chaleur inconfortable, il peut alléger son habillement. Par contre, un soudeur qui a chaud ne peut avoir recours à cette solution, sinon il sera exposé aux autres risques inhérents à son métier (brûlures, rayonnement et projections). Il faut donc trouver d'autres solutions et d'autres mesures de prévention.

A. Réduction de l'exposition

Si l'indice de contrainte thermique est élevé, on peut appliquer les mesures particulières de prévention selon l'ordre suivant :

- **Contrôles d'ingénierie**
  L'objectif des méthodes de contrôle par ingénierie est de réaménager le poste de travail exposé de manière à diminuer la contrainte thermique à ce poste de travail. Par exemple :
  - diminuer le rayonnement de la chaleur en réduisant la température ou les propriétés émissives d'une surface chaude par l'ajout de matériau isolant,
  - empêcher le rayonnement de chaleur d'atteindre le travailleur au moyen d'écrans réfléchissants (aluminium par exemple), absorbants (côté noir mat du côté de la source), transparents (verre, grille métallique ou rideau de chaînes) ou flexibles (tissu recouvert d'aluminium),
  - diminuer la température de l'air par une bonne ventilation qui permet d'évacuer la chaleur de façon naturelle (ouvertures dans le toit) ou mécanique (ventilation générale ou locale),
  - climatiser des postes de travail fermés ou des secteurs confinés par des cloisons,
  - réduire l'humidité de l'air en isolant les sources de vapeur (couvercle sur bassin d'eau), par extraction de l'humidité (aspiration locale) ou par déshumidification de l'air,
  - accroître la vitesse de l'air près des travailleurs exposés à l'aide de ventilateurs placés de façon à favoriser l'évaporation de la sueur à la surface de la peau,
  - diminuer l'effort physique à fournir en offrant une assistance mécanique pour certaines tâches lorsque c'est possible.

- **Équipements de protection individuelle**
  Si les mesures précédentes ne suffisent pas ou en attendant que les transformations requises soient faites, il faut s'assurer que les travailleurs exposés portent des équipements et des vêtements de protection contre la chaleur. Par exemple, ils pourraient utiliser des vestes refroidies à l'eau ; il faut toutefois porter une grande attention aux fuites d'eau lors du travail avec des procédés de soudage à l'électricité (préférer dans ce cas des vestes refroidies à l'air).

B. Mesures préventives

En présence de contraintes thermiques, il est important de prendre les mesures préventives suivantes :

- **Acclimatement des travailleurs**
  Un individu est capable de s'acclimater graduellement à un travail en ambiance thermique chaude.

  Quand un individu est acclimaté, sa sudation débute plus tôt et est plus abondante pour un travail donné, la concentration de sels dans sa sueur est moins grande, son rythme cardiaque et sa température corporelle sont moins élevés.

  La majeure partie de cet acclimatement s'obtient en 5 à 7 jours. On devrait donc exposer graduellement un travailleur à une contrainte thermique élevée durant cette période : Par exemple, permettre une exposition correspondant à 20% du temps de travail la première journée avec une augmentation de 20% les jours subséquents ou 50% maximum au début avec une augmentation de 10% pour chaque jour subséquent. Le processus d'acclimatement complet pourrait même s'étendre sur 14 jours.

  Un travailleur acclimaté qui s'absente pour prendre des vacances ou pour effectuer un tout autre travail pourrait devoir reprendre sa période d'acclimatement. On considère que le travailleur a perdu son acclimatement après une absence de 5 jours. De la même façon, après une fin de semaine, on recommande au travailleur de réduire un peu son exposition la première journée.

- **Habillement**
  Les vêtements pâles sont préférables aux vêtements foncés puisqu'ils captent moins la chaleur de rayonnement. Quand on est exposé à une forte chaleur radiante, des vêtements amples et ne laissant pas passer l'air ont l'avantage d'emprisonner une couche d'air importante (bon isolant) tout en gardant loin de la peau le tissu qui, lui, se réchauffe en





bloquant la chaleur transmise par rayonnement et par convection.

Le coton est recommandé pour des travaux où la chaleur radiante est élevée (par exemple, près d'un four ou sous le soleil) et lorsque l'effort physique à réaliser n'est pas trop grand, parce qu'il gêne les mécanismes d'évaporation de la sueur. En effet, un chandail de coton tout mouillé est en fait rempli de sueur qui n'a pas pu s'évaporer, donc qui n'a pas pu remplir son rôle qui est de refroidir le corps.

Pour exécuter un travail physique intense ou pour assurer une évaporation maximale, on choisira un vêtement près du corps, mais ni serré ni moulant. Evidemment, il faut éviter les tissus chauds comme la laine et le cuir.

Les travailleurs œuvrant à l'extérieur devraient se couvrir la tête pour diminuer la chaleur captée par rayonnement.

- **Hydratation**

  Pour conserver sa capacité à combattre efficacement la chaleur, le travailleur doit régulièrement ingérer des liquides. Il devrait boire de petites quantités de liquide à intervalles réguliers (de 125 à 225 ml toutes les 15 à 20 minutes) plutôt qu'une grande quantité d'un coup. Même s'il est recommandé de boire de l'eau, des études ont prouvé qu'un mélange contenant des sucres et du sel est absorbé plus rapidement, en plus de pouvoir remplacer une partie de l'énergie et des sels minéraux perdus en raison de l'effort en contrainte thermique.

  Le tableau 7.1 présente quelques boissons recommandées pendant et après le travail ainsi que leur teneur en glucides, en sodium et en potassium.

C. Mesures d'urgence

En présence de symptôme de déshydratation ou de surexposition à la chaleur (enflures, crampes, fatigue, étourdissement, vertige, évanouissement, peau sèche rouge et chaude, confusion ou délire), il faut amener la victime dans un endroit frais, la rafraîchir et la laisser se reposer en position couchée, les jambes surélevées. Il faut lui faire boire de l'eau en petites quantités et, au besoin, la transporter à l'hôpital.

Tableau 7.1 : Teneur en glucides, en sodium et en potassium de quelques boissons et concentrations recommandées

Boissons	Glucides (g/l)	Sodium (ppm)	Potassium (ppm)
Jus d'orange	110	10	2 000
Jus de tomate	48	3 724	2 272
Limonade	110	0	0
Limonade allégée	0	0	140
Eau minérale	0	415	5
Concentrations recommandées pendant l'effort	**60 à 100**	**400 à 500**	**0**
Mélange : 500 ml (2,5 tasses) de limonade + 500 ml d'eau minérale	55	207	2
Concentrations recommandées après l'effort	**60 à 100**	**400 à 1 000**	**> 200**
1) 100 ml (0,5 tasse) de jus d'orange + 60 g (1/4 tasse) de sucre + 2,5 ml (1/2 c. à café) de sel + 900 ml (3,5 tasses) d'eau	71	1 000	200
2) 500 ml (2,5 tasses) de jus d'orange + 500 ml d'eau minérale	55	600	1 030

Notes : Les boissons qui contiennent des produits à base de caféine, ne sont pas recommandées.
Les eaux de source gazeéifiées ne sont pas des eaux minérales ; elles contiennent de très faibles concentrations de sodium et de potassium.



Chapitre 8

La ventilation appliquée aux opérations de soudage



La ventilation appliquée aux opérations de soudage

Le chapitre 2 aborde la ventilation générale comme une technique complémentaire pour diluer les polluants. Ce n'est cependant pas une façon efficace de capter les fumées et les gaz avant qu'ils ne parviennent dans la zone respiratoire des travailleurs. La réglementation est également très précise pour ce qui est des exigences en matière de ventilation générale.

Ouvrages de référence

Pour obtenir plus d'information sur la ventilation appliquée aux procédés de soudage et de coupage, on peut consulter le guide pratique de ventilation n° 7 édité par l'INRS sous la référence ED 668 (Année de publication : 1990). On y trouve certaines exigences de ventilation en fonction des procédés utilisés, du volume du local de travail et de son degré de confinement.

Pour les manières de faire ou les règles de l'art en matière de ventilation, il faut consulter les guides de l'INRS numéro ED 695, ED 703 et TJ 5.

La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées avant que celles-ci ne se rendent dans la zone respiratoire du travailleur. Il existe trois types de systèmes d'aspiration, selon le débit et la pression engendrés par les unités de ventilation :

- système à haut volume, basse pression (HVBP),
- système à moyen volume, moyenne pression (MVMP),
- système à bas volume, haute pression (BVHP).

Ces trois types de systèmes se distinguent par les caractéristiques de leur unité d'aspiration (voir tableau 8.1). Ces unités sont classées selon leur capacité d'aspirer un volume d'air à une certaine pression (résistance), qui est engendrée par le passage de l'air dans l'ensemble du système d'aspiration : conduits d'extraction, capteurs, filtres, etc.

Pour choisir le type de système, on détermine d'abord le type de capteur ou de hotte d'aspiration, puis on évalue le débit d'air à extraire à chacun des points de captage et la perte de pression associée à l'ensemble du système d'aspiration. La pression de fonctionnement s'exprime en kilopascals (kPa) ou en millimètres d'eau (1 mm CE = 9,81 Pa).

Tableau 8.1 : Principales caractéristiques des différents types de systèmes d'aspiration

Système	Unité aspirante	Pression de fonctionnement	Type de capteur	Débit d'air
HVBP	Ventilateur	< 5 kPa	Bras de gros diamètre (100 à 200 mm), table, panneau	800 à 5 000 m³/h et au-delà
MVBP	Ventilateur centrifuge ou turbine	5 à 15 kPa	Bras ou flexible de petit diamètre (45 à 100 mm)	200 à 700 m³/h
BVHP	Turbine	15 à 30 kPa	Torche aspirante	50 à 250 m³/h

A. Système à haut volume, basse pression (HVBP)

Les systèmes haut volume, basse pression sont caractérisés par :

- l'utilisation d'une tuyauterie de grand diamètre, soit 100 mm et plus,
- l'utilisation d'un ventilateur,
- l'aspiration à travers une hotte aspirante, d'une table aspirante ou d'un bras de captage.

- **Débits recommandés**
  Le tableau 8.3 indique le débit recommandé pour un bras de captage selon la distance qui le sépare de l'arc et selon la forme de la hotte.

Tableau 8.2 : Indications pour le débit d'air

Distance source/capteur	Conduit simple	Conduit avec bride ou avec cône
Jusqu'à 150 mm	600 m³/h	450 m³/h
150 à 230 mm	1 300 m³/h	1 000 m³/h
240 à 350 mm	2 100 m³/h	1 700 m³/h



D'autre part, la vitesse recommandée dans les conduits de ventilation doit être comprise entre 9 et 15 mètres par seconde pour les fumées de soudage, ceci afin d'assurer le transport des fines particules et pour éviter qu'elles ne s'accumulent dans le conduit.

- **Hotte aspirante**
  La figure 8.1 représente une hotte fixe placée au-dessus d'une table de travail. Dans le cas du soudage manuel, les fumées et les gaz aspirés circuleront directement dans la zone respiratoire du travailleur, ce qui n'est pas considéré comme du captage à la source. Le travailleur devra être équipé d'une protection respiratoire quelque soit la toxicité des produits utilisés. La hotte aspirante est réservée pour les applications automatiques.

- **Table aspirante**
  La figure 8.2 présente deux principes de tables aspirantes et un panneau aspirant.

  L'air pollué est aspiré soit à travers des fentes situées sur une cloison verticale à l'extrémité de la table ou sur la face du panneau placé au dessus de la pièce soudée (soudage), soit directement au niveau de la surface de la table par des ouvertures ou une surface grillagée (coupage).
  Ces dispositifs d'aspiration fixes permettent le captage des fumées résiduelles et l'air vicié ne passe pas par la zone respiratoire du travailleur. Un inconvénient reste la dimension des tables et panneaux aspirants qui doit être adaptée à la dimension des pièces à souder. L'efficacité de l'aspiration est influencée par la forme de la pièce et des endroits à souder.
  Le tableau 8.3 montre les avantages et les inconvénients d'un système d'aspiration fixe (hotte de ventilation ou table aspirante).

Tableau 8.3 : Système d'aspiration fixe (hotte de ventilation, table aspirante ou panneau aspirant)

Avantages	Inconvénients
Représente un investissement réduit pour une polyvalence optimale aux opérations connexes au soudage (table aspirante).	Coût énergétique, car exige un grand débit d'air.
Les fumées, poussières et gaz sont aspirés avant d'entrer dans la zone respiratoire du travailleur (table aspirante et panneau aspirant).	La hotte ne peut être utilisée qu'en soudage automatisé sinon la zone respiratoire du travailleur est située dans la zone polluée.
N'exige aucun positionnement de la part du travailleur et permet donc le captage des fumées résiduelles.	Dédié à un type de pièces (dimensions) dans un lieu déterminé.

Nota : La ventilation générale peut parfois causer le déplacement des fumées, poussières et gaz hors du chemin de capture.

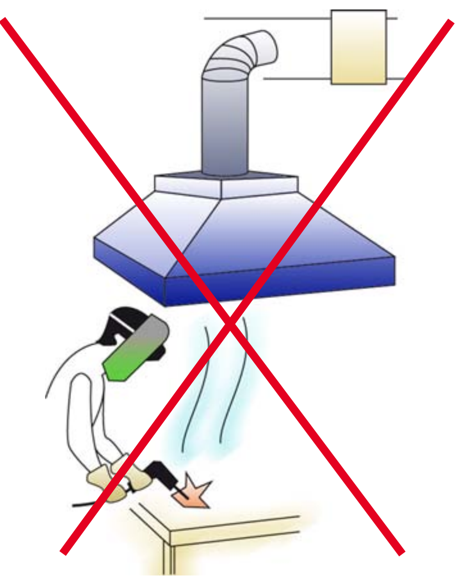


Figure 8.1 :
Hotte fixe au-dessus de la table de travail réservée uniquement aux applications automatiques



a) Panneau aspirant vertical

b) Table avec aspiration verticale descendante

c) Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur

Figure 8.2 :
Tables aspirantes

- **<u>Bras de captage de grand diamètre</u>**
  Les bras de captage de diamètre égal ou supérieur à 100 mm font partie des systèmes de captage de haut volume, basse pression.

  Ce genre de capteur est généralement utilisé pour des pièces de petites et moyennes dimensions pour lesquelles les déplacements du bras pour capter les fumées de soudage sont limités.

Les grandes pièces nécessitent un mouvement constant du bras de captage lorsque le soudage progresse et les utilisateurs finissent par s'en lasser.

La figure 8.3 représente l'utilisation d'un bras de captage de 200 mm de diamètre sur un réseau de canalisations desservant 10 postes de soudeurs, donc avec une capacité totale de 1 400 m³/h.

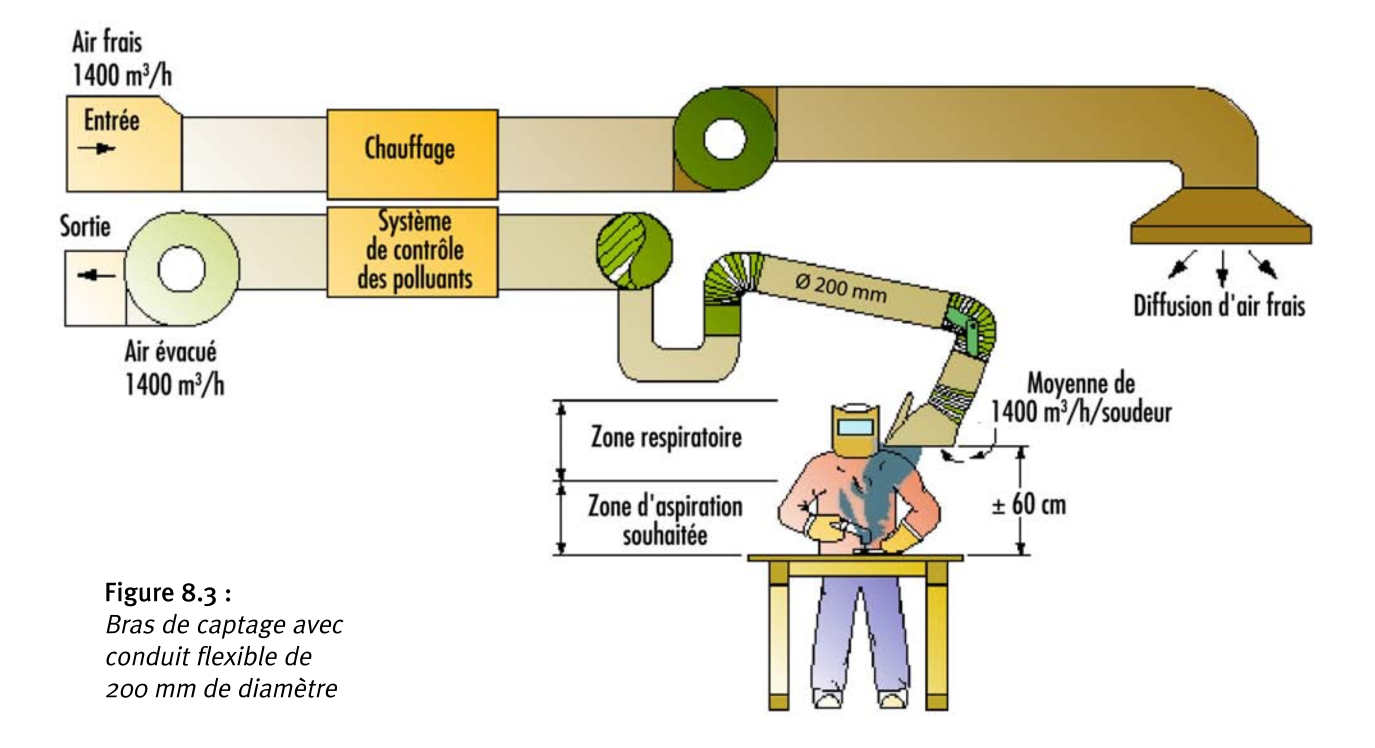


Figure 8.3 :
Bras de captage avec conduit flexible de 200 mm de diamètre

Tableau 8.4 : Bras de captage de diamètre supérieur à 100 mm

Avantages	Inconvénients
Enveloppe de captage importante : • 450 mm pour un débit de 1 200 m³/h dans un bras de 160 mm et, • 700 mm pour un débit de 1 700 m³/h dans un bras de 200 mm.	L'enveloppe de captage doit suivre la zone de soudage à l'initiative du soudeur.
Possibilité d'installer une source d'éclairage sur le capteur pour inciter le soudeur à bien le positionner.	La zone respiratoire du soudeur peut être polluée par les fumées et le gaz s'il positionne sa tête dans l'enveloppe de captage.
L'accès aisé aux réglages des articulations facilite la mise en position du bras.	La structure peut gêner la visibilité de la zone de soudage et la mise en place dans la zone de captage souhaitée.
Facilité d'automatisation de la mise en aspiration synchronisée avec l'opération de soudage.	Sans automatisation, les volumes d'air extrait et de compensation peuvent devenir importants.

B. Système à moyen volume, moyenne pression (MVMP)

Les systèmes moyen volume, moyenne pression sont caractérisés par :

- l'utilisation de bras de captage ou de flexibles de moyen diamètre, soit de 45 à 100 mm,
- l'utilisation d'un ventilateur de type centrifuge comme unité d'aspiration.

Le tableau 8.5 présente les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'un bras de captage ou d'un flexible de diamètre inférieur à 100 mm.

Tableau 8.5 : Bras de captage de diamètre inférieur à 100 mm

Avantages	Inconvénients
Le captage des fumées, poussières et gaz se fait entre la source et la zone respiratoire.	Nécessite un positionnement rigoureux pour être efficace.
La dimension réduite du capteur libère l'accès à la zone de soudage.	
Faible déperdition thermique car faible débit de captage mis en œuvre.	Enveloppe de captage limitée.
Rayon d'action important pour les flexibles avec buse.	L'enveloppe de captage doit suivre la zone de soudage à l'initiative du soudeur.

Nota : Dans la plupart des outillages de bridage ou de conformation de pièces, l'aspiration peut être intégrée à l'outillage si elle est prévue dés sa conception.

C. Système à bas volume, haute pression (BVHP)

Un captage à la source à faible débit par des outils dédiés engendre des pertes de charge importantes et nécessite le principe de bas volume, haute pression.

La principale différence entre un système de bas ou de haut volume réside dans l'unité d'aspiration. Pour pouvoir réaliser une aspiration à haute pression (BVHP), il faut une turbine capable de supporter de grandes pertes de charge. Pour évaluer les pertes de charge du système, il faut tenir compte du type de capteur, de la longueur et de la structure du conduit. Ce type de système peut faire réaliser des économies fort intéressantes.

La méthode BVHP, utilisant des volumes d'air faibles, permet de :
- réduire le coût de l'unité filtrante,
- minimiser les différences de pression dans un bâtiment,
- réduire le débit du volume d'air de compensation, ce qui diminue le coût énergétique (chauffage, climatisation, puissance consommée, etc.).

Différents systèmes de captage peuvent fonctionner en BVHP :
- torche de soudage à captage intégré dite torche aspirante,
- flexible d'un diamètre inférieur à 45 mm et de grande longueur (> 15 m),
- microcapteurs intégrés dans un gabarit ou placés au choix à l'aide d'un aimant.



Figure 8.4 :
Torche aspirante

- ## Torche de soudage à captage intégré

Les premières torches mises sur le marché étaient lourdes et leur débit n'était pas toujours réglé de façon optimale. Aujourd'hui, les fabricants offrent un produit de troisième génération qui semble intégrer plusieurs des qualités techniques requises.

La torche de soudage à captage intégré possède, à proximité de la buse, des orifices par lesquels sont aspirés les fumées sans que soient aspirés les gaz de protection.

La torche fonctionne de la façon suivante : une turbine produit l'aspiration nécessaire et fait circuler l'air pollué à travers un tuyau flexible intégrant le faisceau d'alimentation de la torche.

Avantages et inconvénients

Le captage intégré à la torche de soudage est la meilleure méthode. Il peut être complété par un système de ventilation générale. Il permet de souder de grandes pièces sans avoir à se soucier de déplacer un bras de captage.

Le débit nécessaire pour le captage est plus faible que dans tous les autres systèmes de captage à la source. Par exemple, le débit peut varier entre 70 et 200 m^3/h, selon le modèle de torche et le courant requis pour le soudage en mode semi-automatique.

Étant donné le faible débit requis par chacune des torches, les coûts de chauffage de l'air de remplacement sont plus faibles que pour des systèmes avec des bras de captage à haut volume.
Certains modèles de torches sont plus volumineux que d'autres mais pas nécessairement plus lourds. Il faut donc comparer les torches offertes par les différents fabricants. Il faut avoir à l'esprit que l'encombrement d'une torche volumineuse peut gêner si le soudage se fait dans un espace confiné. Il est donc important d'essayer différents modèles avant de faire un choix définitif pour son acceptation par les soudeurs.

Depuis deux ou trois ans, les fabricants ont amélioré de façon significative les torches à captage intégré. Le tableau suivant présente ces principales améliorations.

Tableau 8.6 : Amélioration des torches à captage intégré

Efficacité.	Les nouvelles conceptions de torche permettent d'atteindre une efficacité jusqu'à 80 %.
Flexibilité du faisceau.	Le flexible d'aspiration englobe le faisceau contenant les fils électriques, la gaine guide fil et les gaz, ce qui donne plus de souplesse.
Joint tournant ou à rotule.	Ces joints permettent une torsion du faisceau facilitant la manipulation de la torche.
Aucun ajustement de la buse.	Avec les nouveaux modèles, des capteurs fixes sont intégrés aux torches.
Contrôle de débit.	Possibilité de modifier la puissance d'aspiration pour un soudage en milieu confiné.

- ## Conseils pour réussir l'implantation des torches à captage intégré

1. **Choix de la torche à captage intégré**
   Faire appel à différents fournisseurs afin de bien choisir le modèle de torche qui apporte le plus de confort lors du soudage. Certains fournisseurs sont disposés à prêter une unité mobile avec la torche correspondante. Pendant les essais, les soudeurs concernés doivent être consultés afin de faire connaître leurs impressions.

2. **Choix de la turbine (unité d'aspiration)**
   Bien choisir la turbine qui correspond à la torche. Chaque torche possède ses propres caractéristiques concernant la pression exercée à l'entrée ainsi que le débit requis. Une turbine trop puissante aspire les fumées mais aussi les gaz de protection tandis qu'une turbine trop faible ne peut fournir le débit requis aux orifices de la torche pour capter les polluants.

3. **Ergonomie du poste de travail**
Une torche aspirante étant plus lourde qu'une torche traditionnelle, il est indispensable de soulager le poids additionnel par un système aérien d'aide complémentaire (potence, support de torche, équilibreur, etc.). Ces dispositifs améliorent notablement la productivité (jusqu'à 30 %), la durée de vie des matériels de soudage et la sécurité du poste de travail.

4. **Recommandations du fabricant**
Il est nécessaire de suivre les recommandations du fabricant car une différence minime du diamètre des conduits peut faire en sorte de diminuer grandement l'efficacité de la torche. L'entretien nécessaire du système devra également être spécifié par le fabricant ou le fournisseur.

5. **Justification des coûts**
Évidemment, l'achat d'un tel système paraît coûteux de prime abord, car il faut remplacer les torches traditionnelles par des torches à captage intégré. Cependant, les économies de chauffage permettent de s'attendre à un retour sur investissement très intéressant (150 m³/h extrait pour une torche, 1 200 à 2 000 m³/h pour un bras).

- <u>Bras de captage de petit diamètre</u>
Les nouveaux modèles de bras de captage ont des conduits de diamètre plus petit en raison du développement de la technologie du bas volume, haute pression. Les conduits peuvent varier de 4 à 8 cm de diamètre, ce qui facilite le changement de position et nuit moins à la visibilité.



Figure 8.5 :
Bras de captage de 45 mm de diamètre

Tableau 8.7 : Bras de captation d'un diamètre de 5 cm

Avantages	Inconvénients
Le positionnement du capteur est à ± 12 cm de la source d'émission.	Demande une attention particulière pour le positionnement de la buse de captation afin d'obtenir une efficacité maximale.
Les fumées et les gaz sont captés entre la source d'émission et la zone respiratoire, donc il y a élimination de presque tous les risques d'inhalation de produits toxiques.	Ne convient pas vraiment pour le soudage de grandes pièces.
Si les articulations sont externes, celles-ci permettent un ajustement simple et facile d'accès. Les déplacements se font d'une seule main.	
Le débit d'air est d'environ 180 m³/h à 220 m³/h selon la forme de la buse de captation.	

- **Microcapteurs intégrés au gabarit**
  Ces microcapteurs sont en fait des buses d'aspiration de petit diamètre qui sont aménagées directement au niveau du gabarit de positionnement des pièces à souder. Il ne s'agit donc pas de bras de captage devant être déplacés suivant la soudure, mais bien d'un captage intégré au gabarit qui supporte la pièce à souder. L'efficacité du captage dépend du nombre de capteurs et de leur emplacement en fonction des points à souder. Ce type de système s'adapte bien à une production en série de pièces semblables devant être assemblées sur des positionneurs.

Avantages	Inconvénients
Captation intégrée sans l'intervention du soudeur.	Plus de capteurs, donc un débit total supérieur par poste de travail.
Ne requièrent pas de torche spéciale.	Installation permanente ou presque, inadéquate pour les productions flexibles.
Captent les fumées qui continuent à émaner après la soudage, notamment sur des pièces enduites d'huile ou de graisses.	
Convient à tous les procédés de soudage.	

D. Table d'eau

Les tables d'eau sont surtout utilisées pour la coupe au plasma et au gaz. Ces tables sont très efficaces pour retenir les fumées produites par la coupe du métal. La conception de ces tables est assez simple : il s'agit d'un réservoir d'eau situé sous la table de coupe. Les fumées ainsi soufflées par le jet de coupe sont dirigées dans le bassin d'eau qui retient les particules. En plus d'une très grande efficacité de captage et d'absorption des fumées, le coût d'opération est minime vu l'absence de ventilation d'extraction.
Évidemment, il faut respecter certaines procédures pour nettoyer le réservoir et jeter les métaux qui sont accumulés dans le fond. La fréquence de la vidange d'eau souillée dépend du procédé de coupe utilisé et du degré d'encrassement. L'ajout d'additifs dans l'eau (antibactériens et autres) n'est pas obligatoire si l'entretien du bassin est fait régulièrement.
Il peut se produire sous les pièces à couper une accumulation d'hydrogène principalement en coupage de l'aluminium sous eau. De plus ne pas couper de titane sur cette installation. L'hydrogène étant un gaz inflammable, il existe un certain risque d'ignition, qui pourrait créer une explosion. Il faut donc assurer la dilution de ce gaz par ventilation balayant la surface de l'eau et ne pas laisser de l'aluminium immergé.
En général, pour être efficace, le bassin d'eau doit avoir entre 45 et 50 cm de profondeur. La hauteur du niveau d'eau doit se rapprocher de 5 à 10 cm de la zone de coupe. Lors de la conception du bassin, il ne faut pas oublier d'évaluer la structure de ce dernier pour qu'il soit en mesure de supporter le poids de l'eau. Par exemple, une table de 1,5 mètre de large sur 3,7 mètres de long peut contenir un volume d'eau de 2 800 litres qui pèse près de 2 800 kg, soit près de 3 tonnes.

E. Unité mobile de filtration

Il existe des unités mobiles de filtration des fumées de soudage. Ces unités acceptent généralement jusqu'à deux torches de soudage avec captage intégré ou deux bras de captage.
Les unités de filtration mobiles devraient être utilisées pour des opérations d'entretien ou des travaux de courte durée, à moins d'indications contraires de la part du fabricant, car la capacité des unités filtrantes est faible et requiert un entretien rigoureux. Les filtres habituellement utilisés sont cellulosiques ou polyester. Ils seront réservés aux fumées et poussières sèches. On devrait éviter les filtres électrostatiques à moins d'exceller dans les nettoyages de routine, car ils s'encrassent très rapidement. Il est bon de les réserver au soudage acier carbone sur tôles grasses. Il faut toutefois se souvenir que les gaz ne sont pas filtrés à moins d'utiliser un filtre sélectif au charbon activé.



Figure 8.6 :
Unité mobile de filtration

Il est très important de capter les fumées et les gaz avant qu'ils ne parviennent dans la zone respiratoire des travailleurs. Une fois qu'ils sont captés, il faut savoir quoi en faire, où les diriger ou comment les filtrer pour s'assurer qu'ils ne reviendront pas dans l'environnement de travail.

Il existe différents systèmes de filtration en fonction de la nature, de la forme et de la taille des polluants. Le tableau de la page suivante présente les types de dépoussiéreurs et de systèmes de filtration existants ainsi que des informations pertinentes à leur sujet.

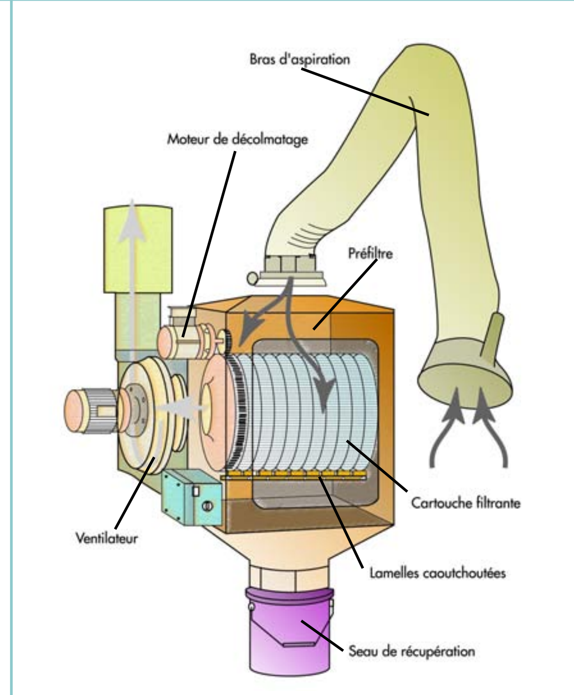


Figure 8.7 :
Système de filtration à cartouche

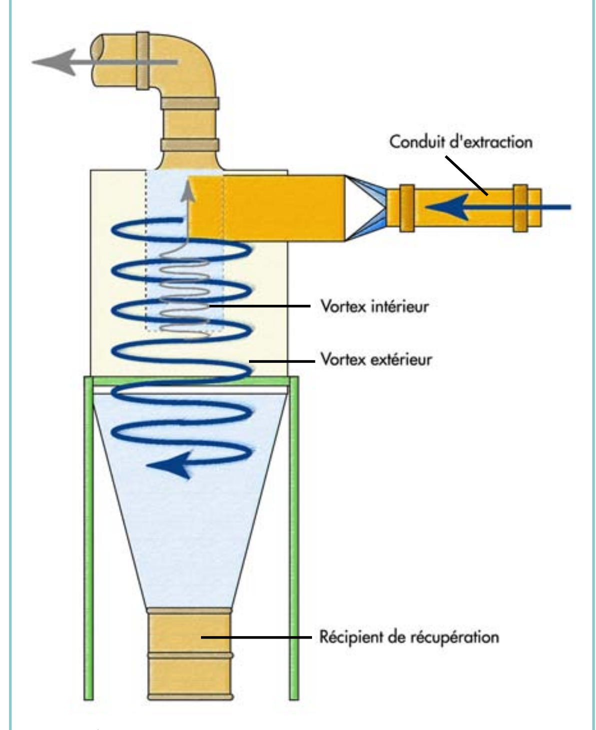


Figure 8.8 :
Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone

Tableau 8.8 : Types d'appareils de filtration et informations particulières

Types d'appareils	Types de polluants	Informations
Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone	Particules	Surtout utilisé pour les grosses particules (> 50 microns). L'efficacité est de 85 à 90 %. Quelques fournisseurs offrent ce système pour les fumées de soudage mais celui-ci n'enlève que les plus grosses particules et les fumées sont évacuées à l'extérieur de l'usine. L'efficacité est constante et le cyclone ne requiert aucun nettoyage. Exemples d'application : copeaux de bois, brins de scie, retailles de papier, etc.
Dépoussiéreur à sac filtrant	Particules	Ce système ne devrait pas être utilisé si les poussières ont tendance à se colmater. L'efficacité est de 97,5 % à 2 microns et peut être décroissante sur une période de ± 2 ans. Un entretien est requis : une vidange au besoin, le nettoyage des sacs filtrants, etc. Exemples d'application : procédés de caoutchouc, de céramique, etc.
Dépoussiéreur hydraulique	Particules	La capture des particules s'effectue à l'aide de gouttelettes d'eau. Utilisé surtout pour des particules combustibles ou inflammables. L'eau doit cependant être traitée de façon adéquate.
Dépoussiéreur à cartouche	Particules	Beaucoup utilisé pour la filtration des fumées de soudage. L'efficacité est d'environ 99,97 % à 0,5 micron. Les cartouches sont formées de tissus en fibres cellulosiques et en composantes synthétiques traitées chimiquement. Celles-ci sont nettoyées continuellement par un jet d'air. Le système requiert le changement des cartouches au besoin. L'air est admis par l'extérieur de la cartouche et est aspiré vers son centre. Un gâteau se forme et l'efficacité augmente. Un jet d'air pousse les poussières vers le bas. Exemples d'application : particules fines non abrasives telles que les fumées de soudage, les poussières de céramique et de produits chimiques, etc.
Filtre électrostatique	Certains types de brouillards Particules non conductives	À ÉVITER POUR LES APPLICATIONS DE SOUDAGE, car les fumées métalliques sont des particules conductives. Les filtres électrostatiques étaient utilisés par une grande majorité d'utilisateurs d'unités de filtration. Toutefois, leur coût de maintenance élevé et leur fonctionnement « tout ou rien » les désavantagent. Le principe de fonctionnement est l'ionisation. Les fumées sont chargées négativement et sont attirées sur la partie positive d'un champ magnétique. Un filtre haute efficacité peut également améliorer le résultat. Utilisation bien connue pour les brouillards d'huile. Possibilité de filtration à une, deux ou trois passes. L'efficacité est soit de 90 % (1 passe), 99 % (2 passes ou 99,9 % (3 passes), soit nulle.
Épurateur par absorption	Gaz Liquide Brouillard	On fait barboter l'air à filtrer dans un liquide qui absorbe les gaz et les particules. L'efficacité est de ± 99 %. Exemples d'application : solvants, vapeurs toxiques, etc.
Épurateur par absorption	Certains types de gaz	Une surface solide adsorbante telle que le charbon actif et l'alumine recouverte d'un oxydant chimique peut être utilisée afin d'épurer l'air de certains gaz. On peut utiliser ce principe pour filtrer certains gaz de soudage. L'efficacité et la longévité de l'épurateur varient selon le modèle et l'application.

Une entreprise travaillant conformément à la norme ISO 14001 se doit d'avoir un système de filtration.

Nota : Pour le coupage plasma le volume de particules récupérées dans les filtres à décolmatage peut être d'un mètre cube tous les deux jours. L'utilisation de containers spécifiques de récupération est fortement conseillée (big bag).



A. Débit d'air requis

- **Réglementation**

L'aération et l'assainissement de l'atmosphère des locaux de travail font l'objet des textes suivants issus du code du travail :

1) le plomb métallique et ses composés font l'objet d'une valeur limite d'exposition professionnelle obligatoire de 0,10 mg/m³. Ils font également l'objet des dispositions figurant aux articles R 231-56 à R 231-56-12, articles R. 231-58-4 à R 231-58-6 , du code du travail,

2) Pour les autres substances, voir les articles R. 232-5 à R 232-5-14 du code du travail et la circulaire du 14 mai 1985 du ministère du travail, relative à la prévention des cancers d'origine professionnelle (valeurs limites indicatives).

Les valeurs limite d'exposition professionnelle sont données dans la circulaire du 19 juillet 1982 établissant des valeurs indicatives de concentrations admissibles pour plus de 500 substances dangereuses et dans l'arrêté du 30 juin 2004 établissant la liste des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives pour certaines substances.

Le contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement fait l'objet de l'arrêté du 8 octobre 1987 du ministère du travail.

L'aération et l'assainissement des lieux de travail font l'objet d'une note technique du 5 novembre 1990.

Les mesures et contrôles pouvant être prescrits par l'inspecteur du travail font l'objet de l'arrêté du 9 octobre 1987 du ministère du travail.

- **Calcul du volume d'air à évacuer**

Le calcul du débit requis s'établit à partir du volume utile du local ou du bâtiment à ventiler. Ce volume utile correspond à la surface totale de plancher du bâtiment multipliée par la hauteur du plan de travail à laquelle on a additionné 3,7 mètres. Le plan de travail correspond à la surface de plancher où sont situés les travailleurs (la hauteur de ce plan de travail est donc nulle si les travailleurs sont tous au même niveau, soit le plancher du bâtiment).

Si le plafond est plus bas que 3,7 mètres, on doit prendre la hauteur réelle du plafond. Une attention particulière doit être portée aux bâtiments qui possèdent des mezzanines où l'on trouve des postes de travail ; dès qu'il y a un deuxième niveau de travail plus haut que le plancher, il faut ajouter le volume correspondant à cette surface additionnelle de plancher.

- **Bilan de ventilation générale**

Il faut inclure dans le bilan de ventilation générale tous les besoins en ventilation locale également. Les débits des systèmes indépendants de captage à la source seront donc inclus dans le volume d'air total évacué seulement si ces systèmes de captage fonctionnent pendant toute une journée de production normale.
Pour les systèmes ne fonctionnant que quelques heures par jour, leur débit ne peut être inclus dans le bilan.

L'exemple dans l'encadré ci-dessous montre la méthode de calcul pour évaluer la capacité requise du ou des ventilateurs destinés à la ventilation générale de façon à assurer le bilan global (ventilation générale + locale) selon le taux de changement d'air à l'heure spécifié par le code du travail.

B. Débit d'air requis si des bras de captation sont utilisés

Données additionnelles :

- Utilisation de 3 bras de captage à 1 730 m³/h chacun pour toute la période de production.
- Utilisation d'un bras de captage à 1 380 m³/h une à deux heures par jour.

Selon le calcul du débit pour quatre changements d'air à l'heure, nous avons trouvé dans l'exemple précédent 13 840 m³/h. Étant donné que trois bras de captage sur quatre fonctionnent pendant toute la période de production, nous pouvons donc les inclure dans le bilan de ventilation.

Débit requis (Q) =
Débit pour quatre changements d'air/heure
– total des débits de la captation locale

Q = 13 840 m³/h – 5 190 m³/h
Q = 8 650 m³/h

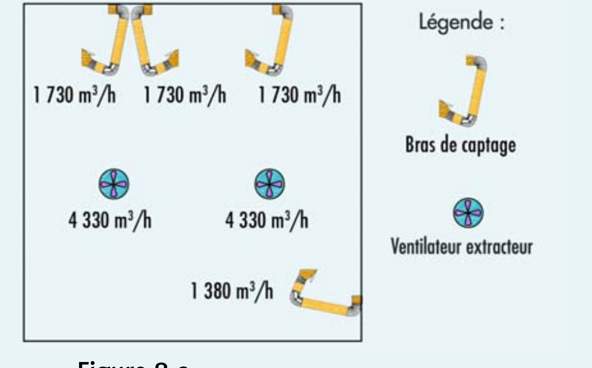


Figure 8.9 :
Système de ventilation générale et locale pour l'évacuation de l'air vicié

La capacité requise pour le débit d'air extrait par les ventilateurs d'évacuation pour l'obtention de 4 changements d'air par heure serait alors de 8 650 m³/h. La valeur a diminué étant donné que les 3 bras de captage évacuent déjà à eux seuls 5 190 m³/h et ce, pendant toute la période de production. Le quatrième bras n'est pas inclus dans le calcul puisqu'il ne fonctionne que quelques heures par jour.

Entrée d'air équivalente et chauffage
Dans un bilan de ventilation, il est important de calculer le débit d'air sortant, mais il est tout aussi important de calculer l'air de remplacement pour bien équilibrer le système. On calcule la quantité d'air de remplacement en soustrayant environ 10 % du débit d'air évacué, ce qui a pour effet de produire une légère pression négative à l'intérieur de l'usine.
Cette faible pression négative permet d'éviter la migration des polluants vers d'autres secteurs, notamment les bureaux.

On retrouve souvent les unités mécanisées avec chauffage d'appoint intégré et diffuseur d'air comme système d'apport d'air frais.

Pendant les périodes froides, les unités de chauffage au gaz ou les unités électriques de l'usine sont utilisées pour maintenir une température stable. Toutefois, l'arrivée d'une grande quantité d'air froid perturbera la température de l'usine. Il est donc important de réduire la différence de température entre l'air frais et celui de l'usine jusqu'au point où la température de l'air frais atteigne environ 16° Celsius à la sortie du diffuseur. Cette température peut être atteinte avec un système de chauffage intégré au système d'apport d'air mécanisé. Il existe également des systèmes d'apport d'air mécanisé qui récupèrent la chaleur au niveau du plafond de l'usine, ce qui facilitera le chauffage de l'air introduit par brassage et évitera un surfonctionnement du système de chauffage de l'usine.

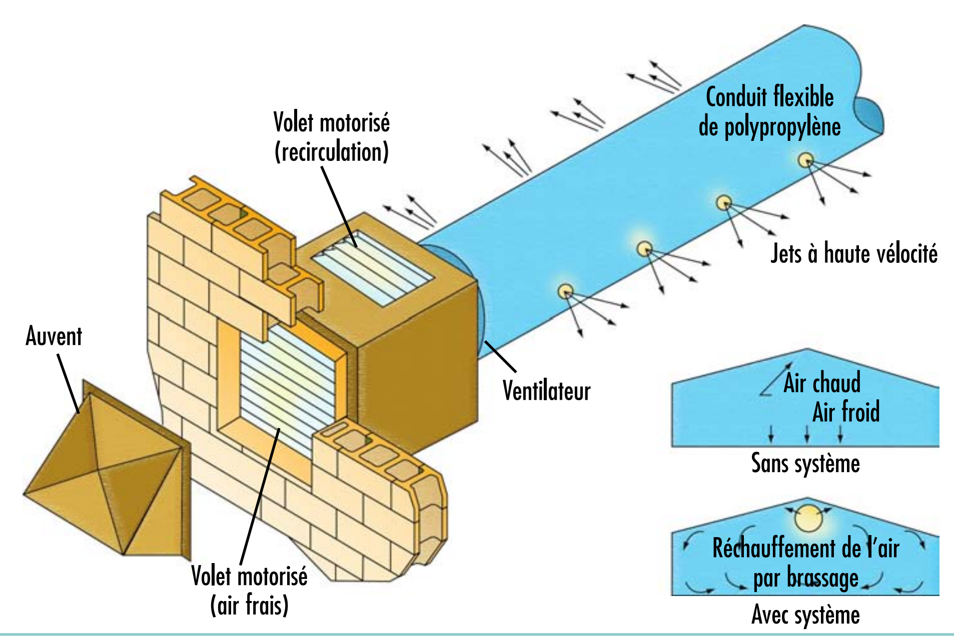


Figure 8.10 :
Système d'apport d'air mécanisé



C. Débit d'air de remplacement (air frais provenant de l'extérieur)

Selon le calcul du débit, pour l'obtention de quatre changements d'air, nous avons trouvé dans l'exemple précédant 13 840 m^3/h. Afin de réaliser le calcul, on applique un facteur de 0,90, ce qui correspond à un débit d'air de remplacement 10 % moins élevé que le débit d'air extrait.

Débit d'air de remplacement requis =
0,90 x Q4 changements d'air
Q requis à l'entrée = 0,90 x 13 840 m^3/h
Q requis à l'entrée = 12 460 m^3/h

La capacité nécessaire pour le débit d'air frais devrait être d'environ 12 460 m^3/h (quantité d'air extrait moins environ 10 %).

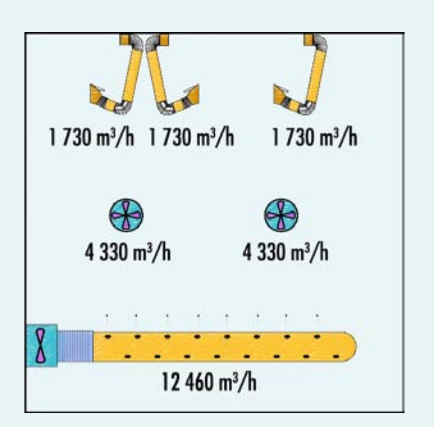


Figure 8.11 :
Organisation du système de ventilation générale complet

Chapitre 9

Les risques dus aux champs électromagnétiques dans les opérations de soudage



A. Effets reconnus

Les sources de champs électromagnétiques sont de plus en plus fréquentes dans l'environnement de travail.

En dépit des nombreuses études réalisées, il y a peu d'avancées significatives dans la connaissance de l'effet des champs électromagnétiques sur la santé humaine.

Certaines nuisances telles que les effets des courants induits dans le corps humain par les basses fréquences et les effets thermiques dans les tissus provoqués par les hautes fréquences sont toutefois scientifiquement reconnues [voir la brochure INRS ND 2143 « Guide pour l'établissement des limites d'expositions aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques »].

La Recommandation Européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques et la Directive Européenne 2004/40/CE du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) fixent des valeurs limites d'exposition conformes aux recommandations de l'ICNIRP.

B. Courants induits

La gamme de fréquences mises en œuvre par les équipements de soudage est incluse dans le domaine des basses et très basses fréquences. Elle s'étend typiquement de 0 Hz à 100 KHz pour les courants fonctionnels et reste inférieure à 1 KHz pour les courants de soudage. Les nuisances reconnues d'un équipement de soudage sont ainsi réduites aux éventuels courants induits dans le corps humain.
Toutefois, les intensités des courants de soudage mis en jeu en soudage à l'arc ne dépassent pas les quelques centaines d'ampères et limitent considérablement l'impact sur la santé humaine.

C. Valeurs déclenchant l'action

Les membres de l'Union Européenne doivent transposer la Directive 2004/40 avant le 30 avril 2008. Les valeurs limites d'exposition fixées résultant de phénomènes physiologiques non directement mesurables, la Directive 2004/40 donne aussi des valeurs facilement mesurables au dessous desquelles aucune évaluation de risque est nécessaire.
Le tableau 9.1 permet une identification rapide des cas ne présentant aucun risque dans le cas où le câble de soudage serait maintenu à plus de 20 cm du système nerveux central :

Tableau 9.1 : Valeurs déclenchant l'action

Technologie	Fréquence de base du courant de soudage	Valeurs déclenchant l'action		Courant de soudage au delà duquel une évaluation est nécessaire	
		Travailleur	Public	Travailleur	Public
Transformateur	50 Hz	500 µT	100 µT	500 A	100 A
Transformateur redresseur monophasé	100 Hz	250 µT	25 µT	250 A	Evaluation nécessaire
Transformateur redresseur triphasé	300 Hz	80 µT	8 µT	80 A	Evaluation nécessaire
Onduleur pour soudage en courant continu	0 Hz – 100 kHz	Variable	Variable	Limité par la qualité du courant de soudage : ondulation < 20 A	Limité par la qualité du courant de soudage : ondulation < 10 A
Onduleur pour soudage en courant pulsé	0 Hz – 1 kHz	Variable	Variable	Evaluation nécessaire	A réserver à un usage professionnel
Onduleur pour soudage en courant alternatif non sinusoïdal	0 Hz – 1 kHz	Variable	Variable	Evaluation nécessaire	A réserver à un usage professionnel

D. Valeurs limites d'exposition

Lorsque les valeurs déclenchant l'action sont franchies, la Directive 2004/40/CE impose à l'employeur d'évaluer ou de calculer si les valeurs limites d'exposition sont dépassées. Ce calcul complexe dépend du type et nombre de sources présentent dans l'environnement de travail ainsi que du positionnement du travailleur. L'employeur doit se rapprocher des fabricants afin d'obtenir les informations nécessaires à l'évaluation.

Un fabricant d'équipement de soudage garantira le niveau d'exposition généré pour son équipement, utilisé seul, et un mode opératoire respecté (par exemple, distance minimale entre l'équipement et le système nerveux). La responsabilité du suivi des prescriptions du fabricant reste à l'employeur.

E. Comportement à risque

La distance entre le circuit de soudage et le système nerveux central est le paramètre prépondérant. Le comportement usuel des soudeurs enroulant le câble de soudage autour du bras ou pire le positionnant sur l'épaule augmente l'influence des champs magnétiques sur le système nerveux central. Il doit être proscrit et remplacer par l'usage de potence permettant d'alléger le poids de la torche de soudage tout en favorisant une arrivée latérale du câble de soudage.

La conformité aux valeurs limites d'exposition ou même aux valeurs déclenchant l'action ne permet pas de garantir un niveau de sécurité suffisant pour les travailleurs porteurs d'un implants. Des interférences, en particulier avec les stimulateurs cardiaques, peuvent se produire à des seuils beaucoup plus bas et des mesures de préventions particulières doivent être prises en collaboration avec le médecin du travail.

Chapitre 10

Les procédures de travail particulières



1. Travail dans un espace confiné

Les espaces confinés augmentent le risque de contamination par les gaz et les fumées de soudage, car ceux-ci ne peuvent pas s'évacuer par eux-mêmes puisque ces endroits confinés sont souvent mal ventilés ou possèdent déjà des produits toxiques sur leurs parois.

A. Définition

Un espace confiné est un espace totalement ou partiellement fermé :

1. qui n'est pas conçu pour être occupé par des personnes, mais qui à l'occasion peut être occupé pour l'exécution d'un travail,
2. qui n'a qu'une voie restreinte d'entrée et de sortie,
3. qui peut présenter des risques pour la santé et la sécurité de quiconque y pénètre :
   a) soit à cause de sa conception, de sa construction ou de son emplacement,
   b) soit à cause de son atmosphère ou de l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique,
   c) soit à cause des matières ou des substances qu'il contient,
   d) soit à cause d'autres dangers qui y sont présents.

Exemples

Les espaces confinés comprennent par exemple : les fosses, les réservoirs, les silos, les tunnels, les compartiments de bateau qui ne sont pas ventilés, les espaces de stockage de petite ou de grande capacité, les camions-citernes, les chambres, les tuyaux, les cheminées, les dépoussiéreurs ou tout autre espace non conçu pour être occupé par des personnes.

B. Règles de sécurité

- **Ventilation et qualité de l'air dans les espaces confinés**

  Il faut correctement ventiler les espaces confinés en s'assurant de :

  1. respecter les normes en matière de concentration de fumées, gaz et poussières (exemples : monoxyde de carbone, bioxyde d'azote, etc.),
  2. ne pas dépasser une concentration de gaz explosifs égale à 10 % de la LIE (LIE = limite inférieure d'explosivité),
  3. respecter un niveau normal d'oxygène, c'est-à-dire entre 19,5 % et 23 %. Il ne faut jamais utiliser d'oxygène ou d'autres mélanges pour ventiler un espace confiné; seul l'air doit être utilisé. Il est rappelé qu'en dessous de 18 % d'O_2 des malaises peuvent survenir entraînant éventuellement l'asphyxie.

  On recommande généralement un minimum de 20 changements d'air à l'heure dans un espace clos où le travail produit une faible quantité de polluants.

- **Procédés oxygaz**

  Lorsque les travaux sont exécutés en espace confiné, on doit s'assurer de bien fermer les robinets du chalumeau après chaque usage afin de réduire au maximum le risque d'accumulation de gaz. L'alimentation en gaz et en oxygène doit être complètement coupée, de l'extérieur, avant toute période d'arrêt prolongé, comme à l'heure du déjeuner ou à la fin d'une journée. De plus, le chalumeau et les tuyaux ne doivent pas être laissés dans le local. La flamme doit être allumée et réglée, puis éteinte à l'extérieur des espaces confinés afin d'éviter toute accumulation de gaz inflammables dans l'atmosphère confinée.

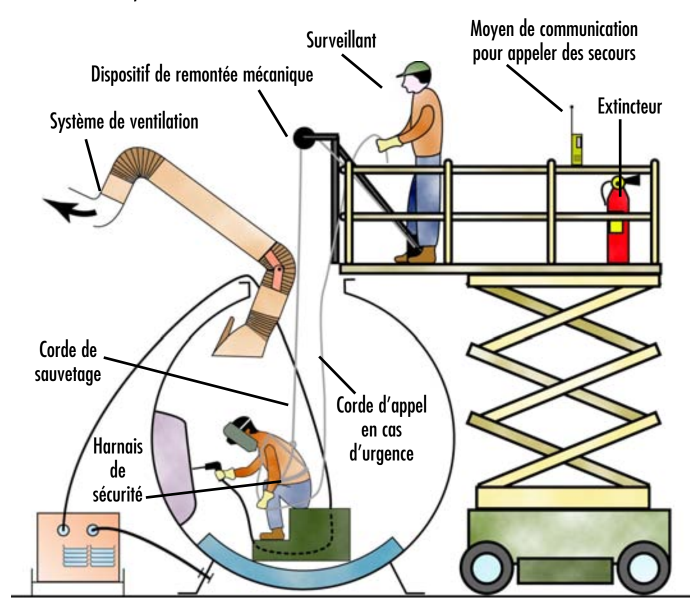


Figure 10.1 :
Soudage dans un espace confiné

C. Procédure d'entrée dans un espace

- **Objectifs**

  L'objectif d'une procédure générale de travail en espace confiné est de fournir aux travailleurs un espace de travail sain et sure. Cette procédure vise à :
  - prévoir un moyen d'accès et de sortie convenable,
  - s'assurer, avant de commencer le travail, que l'air ambiant n'est pas dangereux et qu'il le reste pendant le travail,
  - s'assurer que le travailleur est protégé par un respirateur adéquat quand c'est nécessaire,

- prévoir un plan de surveillance, de contrôle et d'intervention en cas d'urgence.

- ## Procédure générale

Avant qu'un soudeur n'entre dans un espace confiné pour y effectuer du soudage, du coupage ou toute autre opération connexe, il faut appliquer les règles minimales qui suivent :

- obtenir une autorisation avant d'accéder à l'espace confiné,
- enlever toutes les matières dangereuses ou inflammables (solides ou liquides). Se référer à la procédure de nettoyage décrite à la page suivante,
- évacuer les fumées, les gaz et les poussières qui auraient pu s'y trouver, par une bonne ventilation,
- échantillonner l'air avant d'entrer ainsi que pendant toute la période des travaux. Un détecteur de gaz à lecture directe devrait être utilisé pour s'assurer du niveau constant d'oxygène et pour déceler la présence de gaz explosifs, de monoxyde de carbone ou d'autres produits pouvant être émis lors des travaux,
- ventiler correctement l'espace afin d'assurer la sécurité des travailleurs. Si la concentration des gaz explosifs est trop élevée, il faut ventiler davantage ou procéder à un nettoyage en règle de façon à respecter les critères pour une qualité d'air adéquate,
- toute source d'énergie pouvant présenter un risque doit être débranchée, coupée, purgée ou verrouillée selon le cas,
- assurer une surveillance devant l'entrée de l'espace confiné pour appeler de l'aide au cas où il y aurait une urgence,
- garder à l'extérieur les bouteilles de gaz comprimé et les sources de courant,
- amarrer le matériel portable afin d'éviter tout mouvement accidentel lors du soudage.

Moyens de sortie

Si l'ouverture est restreinte, les précautions suivantes s'ajoutent à celles qui ont déjà été mentionnées :

- porter un harnais ou un autre équipement analogue de type approuvé, solidement attaché à une corde de sécurité. Le dispositif ne doit pas risquer de coincer le corps de la personne au cours d'une éventuelle procédure de sauvetage,
- être capable de tirer sur une corde de sécurité attachée à la personne qui assure la sécurité à l'entrée de l'espace confiné afin de l'avertir d'un éventuel besoin d'aide,
- venir en aide au collègue en difficulté seulement lorsqu'une autre personne peut remplacer le gardien et que les secours sont appelés.

Exemple de permis d'entrée dans un espace confiné

Voici un exemple de permis d'entrée qui pourrait être émis en trois copies : une au travailleur signataire, une au représentant de l'employeur signataire et l'autre affichée près de l'entrée de l'espace confiné.

ESPACE CONFINÉ **Numéro de permis :**________

Description

Endroit : ____________________

Travail à faire : ____________________

Risques spécifiques : ____________________

Vérifications

1. Installation de moyens de sortie ____________ ☐
2. Préparation de l'espace clos
   - vidé entièrement ____________ ☐
   - nettoyé ____________ ☐
   - ventilé préalablement ____________ ☐
3. Verrouillage et isolation des sources d'énergie ____________ ☐
4. Ventilation en opération ____________ ☐
5. Tests et mesures
   - oxygène entre 19,5 et 23 % ____________ ☐
   - gaz inflammable < 10 % LIE ____________ ☐
   - matières toxiques ____________ ☐
6. Équipement de protection individuelle
   - respirateur autonome ou à induction d'air ____________ ☐
   - ceinture ou harnais attaché à un cordage ____________ ☐
7. Outils autorisés : ____________ ☐
   ____________ ☐
8. Présence d'un surveillant qualifié
9. Qualification des travailleurs :
   - procédures de travail ____________ ☐
   - procédures d'urgence ____________ ☐
10. Procédures d'urgence :
    - Équipe d'urgence informée ____________ ☐
    - Équipements disponibles ____________ ☐

Validité

Pour la période continue de ____________________

Signatures

Représentant de l'employeur : ____________________

Travailleurs : ____________________

____

2. Travail sur un contenant ayant renfermé des produits dangereux

Tout comme le travail dans des espaces confinés, ce genre de travail représente des risques supplémentaires pour la santé et la sécurité par rapport au travail habituel en soudure. Le travail à chaud sur des contenants ou des réservoirs renfermant ou ayant renfermé une substance inflammable telle que l'essence représente en effet des risques élevés.

A. Sources de danger

Le danger peut provenir de la toxicité du contenu ou de la présence possible de poussières explosives. Un réservoir ou un contenant peut aussi ne jamais avoir renfermé de matières dangereuses et représenter tout de même un danger important. En effet, la soudure sur des réservoirs ou des contenants recouverts d'un enduit pouvant être toxique ou inflammable doit également être réalisée avec précaution.

B. Règles de sécurité

Avant d'effectuer des travaux de soudage-coupage sur les réservoirs et contenants, il faut respecter les étapes suivantes afin d'effectuer le travail en toute sécurité.

- **Nature des substances**
  La substance entreposée à l'intérieur du contenant ou du réservoir doit être connue. Sa fiche signalétique doit être obtenue afin de permettre la sélection des mesures de sécurité appropriées. Il est également essentiel de bien connaître la configuration interne du contenant afin d'identifier les zones où le nettoyage pourrait être difficile ou même impossible.

- **Préparation du nettoyage**
  Le réservoir doit être transporté à l'extérieur si possible. Si le nettoyage du réservoir doit absolument être fait à l'intérieur, il faut prévoir une ventilation adéquate pour évacuer efficacement les vapeurs dangereuses en toute sécurité.
  Durant le nettoyage, on doit utiliser un équipement de protection individuelle approprié à la substance dangereuse.
  La technique de nettoyage doit être choisie en fonction des propriétés des substances à déloger ainsi que des risques qu'elle représente.

- **Méthodes de nettoyage**
  - **Le nettoyage à l'eau :** on peut utiliser cette technique lorsque la substance dangereuse est soluble dans l'eau. Dans ce cas, on peut facilement enlever le résidu en remplissant complètement le contenant ou le réservoir d'eau. Par exemple, des réservoirs contenant des acides ou des substances alcalines peuvent être efficacement nettoyés de cette façon.
  - **Le nettoyage avec agent chimique :** cette méthode utilise habituellement comme agent chimique un composé tel que le phosphate de sodium tribasique ou un autre agent basique dissous dans de l'eau chaude. En utilisant cette méthode, il faut évidemment prévoir des équipements de protection adéquats pour le travail avec des substances basiques.
  - **Le nettoyage à la vapeur :** cette technique consiste à utiliser de la vapeur à basse pression pour déloger les matières dangereuses de la surface du contenant. L'utilisation d'équipements de protection appropriés est également essentielle pour protéger de la vapeur le responsable de l'opération de nettoyage.
  - **Le nettoyage mécanique :** le nettoyage mécanique consiste à gratter la surface du contenant à l'aide d'un outil quelconque afin de déloger les matières dangereuses.

  D'autres techniques de nettoyage peuvent être utilisées, selon le type de produit présent. Le fournisseur du produit contenu dans le réservoir peut également contribuer à trouver la méthode de nettoyage la plus efficace et la moins coûteuse.

- **Préparation avant le soudage ou le coupage**
  L'intérieur du récipient ou du réservoir doit être analysé à l'aide d'un détecteur de gaz approprié afin de déterminer si le niveau de vapeur et de gaz est suffisamment bas. Si le niveau de vapeur est encore trop élevé, il faut recommencer les étapes de nettoyage. Des tests doivent également être réalisés immédiatement au début des opérations de soudure et périodiquement durant les travaux.

- **Utilisation de gaz inerte**
  Dans le cas où il est impossible d'enlever l'ensemble des substances dangereuses, on peut recourir à une purge de l'oxygène à l'intérieur du contenant en le remplissant d'un gaz inerte. Cette procédure est tout indiquée dans les cas où les matières dangereuses sont des produits pouvant s'enflammer ou exploser.

Quand on envisage le remplissage du contenant avec un gaz inerte tel que le dioxyde de carbone ou l'azote, il faut prendre des précautions extrêmes :

- toutes les ouvertures du réservoir doivent être fermées, à l'exception des ouvertures de remplissage du gaz et de sortie à l'air libre (vent),
- il faut remplir le réservoir ou le contenant de gaz inerte par le bas avec un tuyau approprié. Toutes les pièces métalliques de l'équipement de remplissage doivent être reliées au réservoir par continuité des masses (fil de mise à la terre),
- quand on emploie du dioxyde de carbone (CO_2), il faut choisir une basse pression de remplissage pour éviter la formation d'électricité statique. Il ne faut donc pas utiliser des extincteurs portatifs au CO_2 mais bien des bouteilles de gaz munies d'un manodétendeur,
- il faut maintenir le débit de gaz inerte durant l'exécution des travaux de soudure,
- il faut faire des tests au commencement des travaux et régulièrement pendant ceux-ci afin de vérifier la concentration d'oxygène à l'intérieur du réservoir. Cette concentration doit être très près de zéro.

- **Utilisation d'eau ou de sable**

Il est également possible de remplir le réservoir ou le contenant avec de l'eau ou du sable à la place d'un gaz inerte. Dans ce cas, le contenant doit être rempli de manière à ce que le niveau d'eau ou de sable soit à quelques centimètres seulement du point de soudure. Le haut de la surface de l'eau ou du sable doit être ventilé efficacement pour éviter l'accumulation de vapeur inflammable.

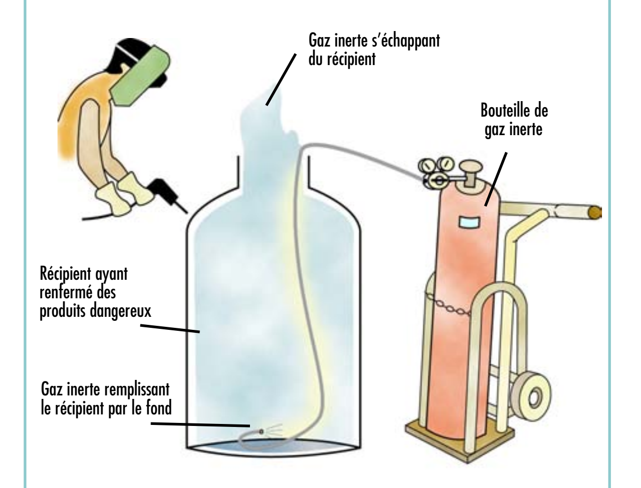


Figure 10.2 : *Remplissage d'un contenant avec un gaz inerte*

Le travail à chaud est l'une des principales causes des incendies et des explosions qui surviennent chaque année dans le milieu industriel. Il n'y a cependant aucune excuse à de tels incidents, car on peut toujours les prévenir. Les enquêtes d'accidents pointent la plupart du temps le laxisme des entreprises à prendre les responsabilités qui s'imposent lors du travail à chaud exécuté par les travailleurs de l'usine ou des sous-traitants.

A. Objectifs du permis

L'implantation, dans une entreprise, d'un permis pour le travail à chaud a comme objectif de diminuer les risques d'accidents et d'incendies en contrôlant efficacement les dangers reliés aux travaux spéciaux qui produisent de la chaleur, des flammes nues ou des étincelles. Parmi les travaux à chaud les plus fréquents, on note le soudage, le coupage, le meulage, le brasage, le dégel de tuyaux et l'application de revêtement de toiture à la torche.

Le soudage ou le coupage réalisé à des postes spécialement aménagés à cette fin ne requiert pas une analyse de risque chaque fois que du travail à chaud est effectué puisque, si l'aménagement du poste de travail a été fait correctement, la plupart des dangers sont contrôlés en permanence. Par contre, lorsque des travaux sont effectués ailleurs dans l'usine, il est nécessaire d'analyser en profondeur la zone de travail pour être en mesure de déceler des dangers et, par la suite, de prendre des mesures adéquates afin de rendre la zone sure avant le début des opérations.

Afin de s'assurer que l'analyse des risques faite avant le début des travaux est correcte, il est souhaitable d'instaurer un système de permis de travail à chaud. Ce type de procédure offre également l'avantage d'obliger tous les entrepreneurs externes engagés par l'entreprise à faire également la demande d'un permis de travail à chaud. Ce système de contrôle des risques permet donc de protéger le personnel de l'entreprise, les entrepreneurs et également les biens matériels.

B. Politique d'entreprise

Une politique écrite et appliquée concernant le travail à chaud est essentielle. Elle doit souligner l'importance accordée à ce type de travaux et aux mesures de sécurité à prendre. Cette politique pourrait énumérer les règles de base à suivre ainsi que les lieux désignés où devraient s'exécuter de tels travaux normalement. La politique doit être claire et elle doit identifier les responsables de son application, surtout en ce qui concerne les entrepreneurs. On devrait toujours s'assurer que ces derniers comprennent cette politique et y adhèrent, avant même le début des travaux.

C. Application de la procédure

Le système de permis pour le travail à chaud permet de s'assurer que l'environnement où les travaux de soudure sont réalisés est sûr. Les éléments suivants doivent notamment être vérifiés :

- **Produits dangereux**
  - La présence éventuelle de produits dangereux à proximité : par exemple, de liquides inflammables, de gaz comprimés, de solides inflammables, de matières comburantes ou de matières corrosives.
  - L'enlèvement des produits combustibles comme le papier, le bois, les fibres textiles, etc. Ces produits combustibles doivent être retirés dans un rayon de 15 mètres de la zone de travail. Si on ne peut déplacer les matières combustible, on peut les recouvrir par un écran résistant au feu fabriqué de matière incombustible (toile ignifuge, métal, etc.).
  - Le recouvrement des fentes et de toutes les autres ouvertures où peuvent s'infiltrer des étincelles dans un rayon de 11 mètres.

- **Murs, plafond et plancher**
  - Lorsque le soudage ou le coupage est effectué près de murs, de cloisons, d'un plancher ou d'un plafond en matière combustible, des écrans ignifuges doivent être présents pour empêcher l'inflammation de ces surfaces.
  - Si le travail doit être effectué sur un mur, une cloison, un plancher ou un plafond en métal, des précautions doivent être prises afin de prévenir l'allumage par conduction d'un incendie de l'autre côté de la surface. Il est préférable de déplacer les matières combustibles situées de l'autre côté. Si cela est impossible, une personne doit être chargée de surveiller le côté opposé des travaux dans le but de détecter un éventuel début d'incendie.
  - Les mêmes précautions doivent être prises pour la soudure et le coupage de tout autre métal conducteur près de substances combustibles.



- **Visite préalable**
  Ces vérifications doivent être faites par une personne ayant de bonnes connaissances des risques engendrés par le travail à chaud. Habituellement, elles peuvent être faites par le superviseur des travaux ou le responsable de la santé et de la sécurité de l'entreprise. Le soudeur doit accompagner cette personne lors de son inspection sur les lieux où se dérouleront les travaux.
  Un nouveau permis doit être émis si la nature des tâches décrites dans la section « description des travaux » est modifiée. Cette dernière mesure permet d'adapter les précautions à prendre en cas de changement de type de travail (exemple : changement de procédé de soudage, modification de l'emplacement, etc.).

- **Visite après les travaux**
  Une visite des lieux de travail 30 minutes après la fin des travaux permet de détecter un éventuel incendie latent. Après cette visite des lieux, les périmètres de sécurité peuvent être retirés.

- **Permis**
  Quand il s'est assuré que le travail est sécuritaire, le responsable de l'entreprise peut émettre un permis afin d'autoriser les travaux. Une fois le permis dûment rempli, il devrait être affiché à un endroit visible à proximité de la zone de travail. Si les travaux doivent se poursuivre sur un autre quart de travail, un autre permis devrait être émis. Il ne faut pas oublier de réaliser l'inspection finale après les travaux avant de retirer le permis de la zone de travail.

PERMIS DE TRAVAIL À CHAUD

Endroit : ________________________________

Description des travaux :

Travail à faire : ________________________________

____

Procédé utilisé ________________________________

Soudage ☐ Coupage ☐ Meulage ☐
Flamme nue ☐ Appareil à combustion ☐

Vérifications avant les travaux :

1. Extincteur portatif visible et accessible ________ ☐
2. Surveillant d'incendie nécessaire ? ________ ☐
   si oui : nom du surveillant : ________
3. Zone de matières inflammables et combustibles ________ ☐
4. Périmètre de sécurité délimité ________ ☐
5. Alarme d'incendie accessible ________ ☐
6. Ouvertures dans les murs protégées ________ ☐
7. Ouvertures dans le plancher protégées ________ ☐
8. Accumulation de poussières enlevée ________ ☐
9. Écrans de protection requis ________ ☐
10. Test de vérification avec explosimètre nécessaire ? ________ ☐
    si oui, résultat : ______ %
11. Autres mesures de sécurité à prendre : ________

____

____

Permis demandé par : nom : ________
poste : ______ compagnie : ________

Permis délivré par : nom : ________
date d'émission : ________ heure : ________
date d'expiration : ________ heure : ________

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

Inspection finale (30 minutes après les travaux)

zone de travail inspectée : ________ ☐

nom : ________

Chapitre 11

Bibliographie et normes



Cette brochure contient des références à des textes réglementaires et à des documents informatifs

LES TEXTES REGLEMENTAIRES

- **Risques liés aux fumées et aux gaz (chapitre 2)**

Les textes européens :

- Directive 91/322/CEE de la Commission, du 29 mai 1991, relative à la fixation de valeurs limites de caractère indicatif par la mise en œuvre de la directive 80/1107/CEE du Conseil concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à une exposition à des agents chimiques, physiques et biologiques pendant le travail.

Les textes français :

- l'article R 232-5 du code du travail (R 232-5-1 à R 232-5-14 : décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail).
- la circulaire du 9 mai 1985 relative au commentaire technique des décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984.
- l'arrêté du 8 octobre 1987 relatif au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement des locaux de travail.
- l'arrêté du 9 octobre 1987 relatif au contrôle de l'aération et de l'assainissement des locaux de travail pouvant être prescrit par l'inspecteur du travail.

- **Risques d'incendie et d'explosions (chapitre 3)**

Les textes européens :

- La directive ATEX 94/9/CE concernant le rapprochement des législations des états membres pour les appareils à système de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles.

Les textes français :

- Décret 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les textes d'application, dont notamment le décret du 7 juillet 1992, qui modifie la nomenclature des installations classées.
- Le Code d'installation du propane.

- **Risques d'incendie et d'explosions (chapitre 5)**

Les textes français :

- Décret 86/1103 du 2 octobre 1986 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

- **Risques liés aux bruits (chapitre 6)**

Les textes européens :

- directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit).

- **Risques liés aux champs magnétiques (chapitre 9)**

Les textes européens :

- La Recommandation Européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques.
- la Directive Européenne 2004/40/CE du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) fixent des valeurs limites d'exposition conformes aux recommandations de l'ICNIRP.



LES REFERENCES INFORMATIVES

Les normes suivantes ont été citées dans le texte de cette brochure de sécurité. Ces documents peuvent être obtenus auprès de l'AFNOR :
(http://www.afnor.fr, rubrique « Normes en ligne »)

Normes internationales :

- **ISO 14001** (NF EN ISO 14 001) « Systèmes de management environnemental – Exigences et lignes directrices pour son utilisation ».

- **CEI 60974-12** « Matériel de soudage à l'arc – Partie 12 : dispositifs de connexion pour câbles de soudage ».

- **CEI 60974-1** « Matériel de soudage à l'arc – Partie 1 : Source de courant de soudage ».

Normes françaises :

- **NF EN ISO 15615** « Matériels de soudage aux gaz – Centrales de bouteilles d'acétylène pour le soudage, le coupage et les techniques connexes – Exigences de sécurité relatives aux dispositifs haute pression ».

- **NF A 84-440** « Centrales de détente pour la distribution des gaz comprimés, dissous et liquéfiés ».

- **NF S 31-084** « Acoustique – Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail ».

- **NF X 08-100** « Couleurs – Tuyauteries rigides – Identification des fluides par couleurs conventionnelles ».

- **FD A 84-441** « Matériel de soudage aux gaz et techniques connexes – Réseau de distribution des gaz en usine – Règles de sécurité pour la conception, la réalisation et l'exploitation ».

- **HD 22-6** « Câbles isolés caoutchouc pour des voltages allant de 450 à 750 V inclus – Partie 6 : Câbles de soudage à l'arc ».

- **HD 516-52** « Guide pour l'utilisation de câbles harmonisés de bas voltage ».
- **NF EN 136** « Appareils de protection respiratoire – Masque complet – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 137** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire autonomes à circuit ouvert, à air comprimé – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 149** « Appareils de protection respiratoire – Demi-masque filtrants contre les particules – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 169** « Protection individuelle de l'œil – Filtres pour le soudage et les techniques connexes – Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée ».

- **NF EN 175** « Protection individuelle – Equipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes ».

- **NF EN 379** « Protection individuelle de l'œil – Filtres de soudage automatique ».

- **NF EN 470-1** « Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techniques connexes – Partie 1 : Exigences générales ».

- **NF EN 562** (A 84-410) « Matériel de soudage aux gaz – Manomètres utilisés pour le soudage, le coupage et les techniques connexes ».

- **NF EN 961** (A 84-433) « Matériel de soudage aux gaz – Détendeurs des centrales de bouteilles (de gaz industriels) pour le soudage, le coupage et les techniques connexes jusqu'à 200 bars ».

- **NF EN 1256** « Matériel de soudage aux gaz – Spécifications relatives aux assemblages des tuyaux souples sur les douilles porte-tuyaux pour matériel de soudage, coupage et techniques connexes » (Juin 1996).

- **NF EN 1598** « Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes – Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc ».

- **NF EN 1835** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire à adduction d'air comprimé de construction légère, avec masque ou cagoule – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 12419** « Appareils de protection respiratoire – Appareils de protection respiratoire isolants à adduction d'air comprimé de construction légère, avec masque complet, demi-masque ou quart de masque – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 12941** « Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrant à ventilation assistée avec casque ou cagoule – Exigences, essais, marquage ».



- **NF EN 12942** « Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrants à ventilation assistée avec masque complet, demi-masque ou quart de masque – Exigences, essais, marquage ».

- **NF EN 60825-1** « Sécurité des appareils à laser – Partie 1 : Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisation ».

- **NF EN ISO 14113** « Matériel de soudage aux gaz - Flexibles en caoutchouc et matière plastique pour les gaz comprimés ou liquéfiés jusqu'à une pression nominale maximale de 450 bar » (Octobre 1997).

Les documents de l'INRS :

Les documents suivants de l'INRS ont été cités dans le texte de la présente brochure :

- **ED 668** « Opérations de soudage à l'arc » (publiée en 1990).

- **ED 695** « Principes généraux de ventilation » (publiée en 1989).

- **ED 703** « Ventilation des espaces confinés » (publiée en 2004).

- **ND 2143** « Guide pour l'établissement des limites d'expositions aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques ».

- **TJ 5** « Aération et assainissement des lieux de travail » (publié en 2004).

D'autres documents INRS existent sur le sujet. Vous pouvez retrouver les références de ces documents sur le site Internet de l'INRS :
http://www.inrs.fr

Recommandations d'organismes privés :

Des recommandations d'organismes ont été citées dans la présente brochure. Elles peuvent être obtenues en contactant directement les organismes.

- **Association Française des Gaz Comprimés** (AFGC) pour les gaz comprimés :
  AFGC
  Immeuble diamant A
  92909 Paris la Défense Cedex
  Téléphone : 01 46 53 10 50

- **Comité Français du Butane et du Propane** (CFBP) pour les gaz de pétrole liquéfiés :
  Comité Français Butane Propane
  8, terrasse Bellini
  92807 PUTEAUX cedex
  Tél : 01 41 97 02 80
  E-Mail : contact@cfbp.fr

- **Syndicat des entreprises de technologies de production** (Symop) sur les recommandations pour l'entretien des matériels de soudage chauffage :
  SYMOP
  Maison de la Mécanique
  92038 Paris la Défense cedex
  Tél : 01 47 17 67 17
  E-mail : info@symop.com

- **Syndicat des entreprises de technologies de production** (SYMOP) sur les recommandations pour l'entretien des matériels de soudage chauffage et coupage oxygaz et pour la maintenance des centrales de détente et de distribution de gaz naturel :
  SYMOP
  Maison de la Mécanique
  92038 Paris la Défense cedex
  Tél : 01 47 17 67 17
  E-mail : info@symop.com